

Trabajo Final de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
PROCESO EN LOS VALORES DE LW /SW DE PIEZA
PINTADA**

MEMORIA

Autor: David Martínez Martínez
Director: Mariano Llobet
Ponente: Lourdes Rodero
Convocatoria: Enero 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

Este proyecto tiene el objetivo de optimizar la producción de piezas pintadas de la empresa *Plastic Omnium S.A.*, específicamente de los modelos de parachoques delanteros de la marca *SEAT*.

Se centra en estudiar las causas que provocan el defecto de la piel de naranja que aparece en los parachoques una vez pintados.

La piel de naranja es un defecto que aparece en la pintura por un exceso de ésta o una falta de estiramiento de la pintura a la hora de aplicarla, dando como resultado visual el aspecto de una cáscara de naranja.

Se analizan los antecedentes a esta problemática. Posteriormente se realiza un estudio estadístico y experimental con el que se dan a conocer qué parámetros del proceso de producción afectan a este tipo de defecto, así como los valores que deben tomar estos parámetros para minimizar el número de piezas que no pasan las especificaciones mínimas del cliente.

Sumario

SUMARIO	3
1. GLOSARIO	5
2. PREFACIO	7
2.1. Origen del proyecto	7
2.2. Motivación	7
2.3. Conocimientos previos	7
3. INTRODUCCIÓN	9
3.1. Objetivos del proyecto	9
3.2. Entorno	9
3.2.1. La Empresa	9
3.2.2. Zona de Pintura	10
3.3. Alcance del proyecto	13
4. RECUBRIMIENTOS	15
4.1. Composición de la pintura	15
4.1.1. Pigmentos	15
4.1.2. Resinas o ligantes	17
4.1.3. Disolventes	17
4.1.4. Aditivos y Cargas	18
4.2. Pintura 1k y 2k	19
4.3. Formación de la película	21
4.4. Capas aplicadas	23
5. PIEL DE NARANJA	25
5.1. ¿Qué es la piel de naranja?	25
5.2. Sistema de medición	27
5.3. Short Wave (SW)	29
5.4. Long Wave (LW)	30
5.5. Actuación frente a la piel de naranja y antecedentes	31
6. TRABAJO DE CAMPO	35
6.1. Planteamiento del problema	35
6.2. Aceptación y descarte de factores	36
7. INFLUENCIA DE LA FORMULACIÓN DE LA PINTURA	39

7.1. Planteamiento.....	39
7.2. SEAT León	40
7.3. SEAT León FR	42
7.4. SEAT Ibiza.....	43
7.5. SEAT Arona.....	45
7.6. Conclusiones	46
8. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE APLICACIÓN.....	49
8.1. Planteamiento.....	49
8.2. Experimentación	51
8.2.1. Diseño de experimentación	51
8.2.2. Elección de los niveles.....	51
8.2.3. Negro Mythos	52
8.2.4. Blanco Candy	56
8.2.5. Blanco Nevada	57
8.2.6. Mystery Blue	58
8.2.7. Magnetic Tech	59
8.3. Conclusiones	60
9. INFLUENCIA DEL VALOR DE SW EN LW	61
10. PRESUPUESTO	63
11. IMPACTO AMBIENTAL	65
12. CONCLUSIONES	67
13. BIBLIOGRAFÍA.....	69

1. Glosario

LW: Long Wave, Onda larga

SW: Short Wave, Onda corta

Scrap: Hace referencia a una pieza no apta para cliente

Negro masa: Pieza en plástico sin pintar

Sustrato: Base plástica (en este caso) donde se aplican los recubrimientos

Recubrimiento: imprimación, pintura o barniz que se aplica a un sustrato para mejorar sus propiedades

Film: Película, capa de recubrimiento que se aplica en un sustrato

Coalescencia: Fenómeno de creación de una película de pintura

Clearcoat: barniz o laca

Extender: carga que lleva la pintura para mejorar la distribución de pigmentos

SPC: Statistical process control, monitorización de un proceso

C_{pk}: índice de capacidad del proceso, indica si un proceso es capaz

Flash-off: Tiempo de evaporado entre capas de recubrimientos

Atomización: proceso de dividir un líquido en gotas de pulverizado

NI/min: litros por minuto en condiciones normales, a 0°C y 1 atm

2. Prefacio

2.1. Origen del proyecto

Hoy en día, tanto en el sector de la automoción como en otros sectores, es cada vez más y más importante la satisfacción del cliente. La apariencia de un vehículo a la hora de comprarlo es algo crucial. Es esencial que el aspecto de la pintura de un vehículo sea atractivo para un cliente potencial, no tan solo por estética, sino también porque proporciona sensación de calidad.

No solo debe haber una buena apariencia en la pintura de la carrocería, sino que también debe haber una sintonía entre carrocería y partes adicionales como pueden ser paragolpes, retrovisores o spoilers, con el fin de obtener un aspecto homogéneo en el vehículo.

Por estos y otros motivos, como el deseo de optimizar la producción de la empresa *Plastic Omnium S.A.* encargada de la fabricación de piezas adicionales de carrocería basadas en plástico para diferentes marcas, se ha originado este proyecto.

2.2. Motivación

Poder formar parte de un proyecto de la industria de la automoción en el que se quiere solventar un problema real ha sido una de las principales motivaciones para realizar el proyecto.

Además, el hecho de poder aprender cómo funciona una empresa del sector desde dentro, especialmente en el área de pintura, es el punto clave para centrar este proyecto, ya que el paso de pintado es crucial debido a que es lo primero que puede apreciar un cliente.

2.3. Conocimientos previos

Para la realización de este trabajo han sido especialmente útiles los conocimientos adquiridos durante el *Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales*. Especialmente en *Estadística y Técnicas Estadísticas para la Calidad*. Se han utilizado multitud de herramientas de estas asignaturas, así como el software *Minitab* utilizado en ambas.

3. Introducción

3.1. Objetivos del proyecto

Los objetivos marcados son aumentar la productividad de la empresa intentando reducir la cantidad de piezas rechazadas por el cliente debido a defectos de estructura en la pintura. La estructura hace referencia a la piel de naranja.

De tal forma se busca abaratar los costes debidos a piezas de *Scrap*, es decir, las piezas que no cumplen los requisitos mínimos por uno u otros motivos. Por lo tanto, son piezas no aptas para enviar al cliente y son pérdidas económicas directas para la empresa.

3.2. Entorno

El presente proyecto ha sido realizado con la colaboración de la empresa *Plastic Omnium S.A.* Dentro de sus instalaciones situadas en la planta de Barcelona, concretamente en Sant Andreu de la Barca.

3.2.1. La Empresa

Plastic Omnium S.A. es una multinacional francesa del sector de la automoción con más de 120 plantas en todo el mundo, su principal actividad es la producción de parachoques, spoilers y otros elementos de carrocería fabricados en plástico.

El principal cliente de la planta de Barcelona es *SEAT*, donde se producen cuatro modelos de parachoques delanteros de los modelos *Ibiza*, *León*, *León FR* y *Arona*. También se producen los spoilers del *SEAT León*.

En cuanto a su segundo cliente, *Citroën*, del cual solo se produce un modelo, el *C3 Aircross*, pero del que se fabrican cinco elementos diferentes: el parachoques delantero, embellecedores delantero y trasero y los dos pasos de rueda traseros, el izquierdo y el derecho.

Dentro de la planta de Barcelona, se distinguen tres áreas diferenciadas. El área de Inyección, dónde mediante granza de plástico (ver figura 3.1) como materia prima y moldes de cada modelo de paragolpes o spoiler, se crean los modelos en cuestión mediante inyección. El resultado final de esta zona, es la pieza en “*negro masa*”, es decir, simplemente el modelo en plástico, toma un color negro, de ahí su nombre.



Figura 3.1 Granza de plástico

Una vez se tienen las piezas en “*negro masa*”, éstas pasarán a la zona de Pintura, está es la zona dónde se va a centrar el trabajo, ya que es dónde se han realizado las prácticas. Básicamente esta área es la encargada de transformar la pieza en “*negro masa*” en una pieza pintada del color demandado por el cliente. Más adelante se explica en más detalle la zona de Pintura.

Por último, la tercera zona de la planta es la zona de Ensamblaje. Cabe destacar que a esta zona solo van los modelos de la marca española *SEAT*, ya que los de *Citroën* no se ensamblan, sino que van directamente pintados a cliente. Los modelos de *SEAT* se montan aquí según especificaciones demandadas por el cliente. Se insertan parrillas, logos, faros, sensores de aparcamiento, tapas lavafaros y faros antiniebla entre otros.

3.2.2. Zona de Pintura

Como su nombre indica, en esta zona de la planta es donde se pintan las piezas. Esta sección de la planta se puede dividir en diferentes zonas, la zona de carga y descarga de piezas, la zona de Instalación y la zona de verificado y pulido.

Cuenta con una línea de producción formada por una cadena transportadora en la que hay 208 carros moviéndose continuamente a baja velocidad. Cada carro transporta las piezas a pintar, las cuales están ancladas a sus respectivos bastidores.

Los bastidores son intercambiables, ya que cada modelo tiene el suyo propio para poder colgar las piezas con la geometría adecuada. De esta forma, todos los carros son aptos para transportar cualquier modelo, simplemente cambiando el bastidor ya que no todos los carros se cargan con la misma cantidad de paragolpes.

La cadena recorre un circuito cíclico a velocidad baja constante. Todo empieza en la zona de carga de cadena, donde operarios de la empresa se disponen a cargar las piezas programadas en “*negro masa*”. A su vez, operarios de una empresa externa, se encargan de limpiar las piezas antes de que entren a la zona de Instalación. También se cercioran de que las piezas ya cargadas no traigan ningún defecto de inyección tales como rechupes, rebabas o burbujas. En tal caso, serían retiradas antes de entrar en la zona de Instalación.

La zona de Instalación es el lugar donde se lleva a cabo el proceso de pintado de las piezas. Esta zona cuenta con un robot de visión en la entrada cuya función es la de comprobar que la pieza que se ha cargado realmente coincide con la declarada por el operario. En caso de no coincidencia la cadena se pararía automáticamente para

solucionar el error.

Una vez pasado el control, las piezas transportadas mediante la cadena se dirigen al túnel de lavado y desengrase. Este paso es crucial, ya que hay que evitar cualquier tipo de contaminación o impureza en las piezas. Cualquier pequeña mota que quede sin limpiar o que caiga durante el proceso puede convertir la pieza en defectuosa. Por ello, se realiza este lavado exhaustivo, en el que se utiliza agua y productos químicos para lavar y desengrasar seguido de un aclarado con agua.

Después del lavado, las piezas siguen recorriendo la cadena secándose al aire, hasta que llegan a la primera cabina, la cabina de flameado. Esta cabina contiene dos robots de brazo articulado (ver figura 3.2). Estos robots están situados uno a cada lado de la cadena, y hacen movimiento de espejo con el fin de realizar la misma operación en ambos lados.

El proceso de flameado es un pretratamiento que consiste en oxidar el plástico mediante la aplicación de una llama a una distancia determinada, ni muy cerca, ya que se podría quemar la pieza, ni tan lejos como para que no surja efecto.

La finalidad del flameado es incrementar considerablemente la adherencia de las capas de pintura que serán aplicadas a la superficie plástica.



Figura 3.2 Robot de brazo ABB

Inmediatamente después del flameado las piezas entran en la segunda cabina, la cabina de imprimación la cual está equipada con cuatro robots, dispuestos simétricamente de dos en dos uno a cada lado de la cadena y realizando movimientos de espejo tal y como se ha explicado en el proceso de flameado.

La imprimación, al igual que el flameado sirve para aumentar la adherencia de las capas de pintura. Así, se evita que salte la pintura con cualquier roce, con la simple vibración del vehículo o por la acción de fenómenos medioambientales como pueden ser la lluvia, la nieve, granizo o el viento entre otros.

Una vez ha sido aplicada la capa de imprimación, las piezas siguen circulando lentamente a la vez que se secan por la Instalación hasta que llegan a la tercera cabina. La tercera cabina, también llamada “Cabina Base” es dónde se proporciona el color a las piezas.

Consta de seis robots, colocados dos a dos pero con la peculiaridad de que dos de ellos están equipados con copas de aplicación electrostática, mientras que los cuatro restantes, llevan pistolas aerográficas.

Las principales diferencias entre estos dos métodos de pintado son que el equipo aerográfico es más económico que el electrostático, pero por el contrario el método electrostático ahorra hasta un 40% de pintura con respecto al método tradicional. Esto es debido a que no se pierde tanta cantidad de pintura en el aire ya que las partículas de pintura son atraídas de manera electrostática hacia la pieza. Por lo tanto, este método puede resultar más costoso inicialmente, pero a la larga se puede amortizar con el ahorro de pintura. Además es un método más responsable con el medio ambiente ya que se necesita menos cantidad de pintura para cubrir una misma pieza.

Una vez las piezas han sido pintadas del color en cuestión, éstas siguen su camino por el circuito de la cadena, van secándose al aire hasta que llegan a la última cabina. La cuarta cabina es la del barniz.

El barniz es la última capa que se le da a la pieza pintada, es imprescindible ya que protege la pieza de las inclemencias meteorológicas como la lluvia, los rayos del sol y también de posibles ralladuras o golpes. No solo aporta dureza y protección a la pieza, también tiene su aporte estético dándole brillo.

La cabina dónde se aplica el barniz consta de cuatro robots equipados con pistolas aerográficas.

Conforme las piezas van saliendo de ésta última cabina, pasan por un túnel en el que se van secando en un horno a 80 °C para posteriormente salir de la zona de Instalación y llegar a la zona de descarga de piezas. El proceso desde que una pieza es cargada en “*negro masa*” hasta que finaliza el proceso de pintado y se descarga es de unas 4 horas aproximadamente.

Inmediatamente después de descargar las piezas, pasan a la zona de verificado, dónde operarios cualificados inspeccionan minuciosamente cada unidad con el fin de encontrar cualquier tipo de defecto que no cumpla con las restricciones del cliente.

En caso de encontrar un defecto, la pieza pasará a la zona de pulido y allí se valorará si se puede arreglar el defecto retribajando la pieza o si por el contrario, el defecto no es recuperable y por lo tanto es una pieza declarada como *Scrap*.

Las piezas buenas y arregladas pasan a la siguiente fase, a la zona de Ensamblaje en el caso de modelos de *SEAT*, y directamente a cliente en caso de *Citroën*.

3.3. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto es realizar un estudio para ver qué parámetros de la aplicación afectan a la piel de naranja de las piezas pintadas. Una vez descubiertos los factores que son determinantes, fijar los factores en los valores óptimos y aportar estos datos a los responsables de la producción.

4. Recubrimientos

Las pinturas, barnices e imprimaciones están englobados como recubrimientos. Como su mismo nombre indica, un recubrimiento trata de recubrir con cierto material, un sustrato mediante una aplicación, en este caso el sustrato es plástico. Usualmente se aplican con el fin de mejorar las propiedades o apariencia de dicho sustrato.

De tal manera, las imprimaciones son recubrimientos que se encargan de mejorar las propiedades del sustrato plástico proporcionando una mayor adherencia. La pintura añade color logrando la apariencia deseada, mientras que el barniz o laca mejora las propiedades de la capa superficial aportando una mayor resistencia y brillo.

4.1. Composición de la pintura

La pintura es una mezcla de diferentes componentes. Una vez aplicada esta mezcla, se seca formando una película sobre el sustrato en que ha sido aplicada. Esta película tiene un espesor idealmente uniforme, más adelante se mostrará como en realidad esta película no es del todo uniforme, pudiendo llegar a formar el defecto de piel de naranja si esta desnivelación es lo suficientemente importante.

Las proporciones, así como el tipo de componentes utilizados para la mezcla pueden variar mucho dependiendo del resultado final que se quiere obtener. Estos componentes pueden variar el aspecto de la pintura, proporcionando un color u otro, y además pueden afectar tanto al método de aplicación como al secado, ya que pueden variar la fluidez y viscosidad de la pintura.

Los componentes básicos por los que está formada cualquier pintura son los pigmentos, resinas o ligantes, disolventes, aditivos y en algunas ocasiones cargas.

4.1.1. Pigmentos

Los pigmentos son elementos en forma de polvo que proporcionan color, opacidad y poder cubriente a la pintura. Un recubrimiento sin pigmento podría ser un barniz o laca, ya que carece de color, mientras que tanto las imprimaciones como las pinturas contienen este elemento.

El color resultante proporcionado por un pigmento depende de su respuesta a la luz, es decir, un pigmento que recibe rayos de luz solar, está recibiendo multitud de ondas de diferentes longitudes. Cada rango de longitud corresponde a un color, formando el espectro visible por el ojo humano (*ver figura 4.1*).

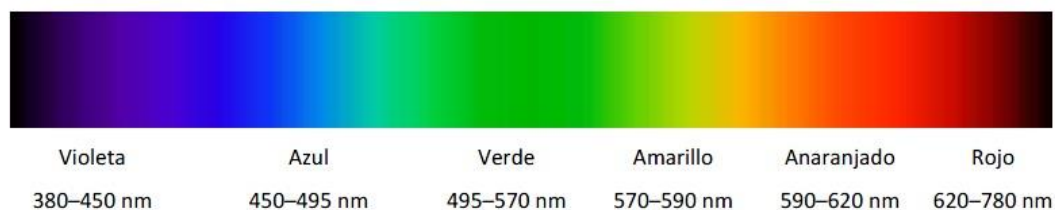


Figura 4.1 Espectro visible por el ojo humano^[1]

De tal forma, un pigmento de color rojo, está reflejando las longitudes de onda correspondientes a éste color (620-780 nm) a la vez que está absorbiendo las ondas restantes. En un extremo se sitúa el color blanco, que se da en caso de que el pigmento refleje todo el espectro visual mientras que por otro lado, el color negro se obtiene cuando el pigmento absorbe todas las longitudes de onda (*ver figura 4.2*).



Figura 4.2 Diferentes ejemplos de colores y la luz que reflejan^[2]

Cabe destacar que el comportamiento del pigmento frente a la luz depende de su fuente, la luz solar está estandarizada como una luz blanca. Puede darse el caso de que la apariencia de un pigmento difiera si está sometido a luz solar o artificial.

Los pigmentos pueden ser clasificados generalmente como orgánicos e inorgánicos. Los pigmentos orgánicos suelen tener una apariencia más viva y de más pureza que los inorgánicos. Por contrapartida, resultan más costosos, tienen peor opacidad y poder de cubrición, no tienen tanta resistencia a elementos químicos y a altas temperaturas como los pigmentos inorgánicos. No obstante los pigmentos inorgánicos suelen ser más pesados.

Debido a sus características, frecuentemente se utiliza una mezcla de ambos tipos de

pigmentos para obtener un resultado óptimo. Los inorgánicos aportan la opacidad de la que carecen los orgánicos, y a su vez los orgánicos contribuyen a tener una apariencia más brillante y pura.



Figura 4.3 Pigmentos de distintos colores ^[3]

En la industria de la automoción son muy utilizados los pigmentos metálicos de aluminio para conseguir el efecto de pintura metalizada.

4.1.2. Resinas o ligantes

La misión de las resinas es la de mantener unidos todos los componentes de la pintura y de conseguir que se adhiera al sustrato una vez se ha secado.

Existen diferentes tipos de resinas utilizadas en la industria, entre las que destacan las acrílicas, poliéster o resinas epoxi siendo las acrílicas una de las más utilizadas por su alta calidad.

Comúnmente se utilizan diferentes tipos de resina en una misma mezcla de pintura, para conseguir las condiciones idóneas. Dependiendo de la composición de estos ligantes, se pueden modificar las propiedades de la pintura variando su fluidez, tiempo de secado, viscosidad o adherencia.

4.1.3. Disolventes

Su principal objetivo es mejorar la aplicabilidad de la pintura. Aumentan la fluidez, de este modo, la pintura puede ser tratada más fácilmente ya sea mediante pistola, como es en el caso de la industria de la automoción, o con aplicaciones más tradicionales como pueden ser la brocha o un rodillo.

Los disolventes están formados principalmente por elementos orgánicos como agua,

alcoholes o ésteres. Se aplican a la mezcla una vez se va a proceder a pintar pudiendo ajustar la viscosidad del conjunto gracias a especificaciones proporcionadas por el proveedor dependiendo de la temperatura de la pintura.

Actúan disolviendo el ligante o resina y evaporándose a la vez que se va formando la película. Dependiendo de su composición se puede controlar el tiempo de evaporación. Una vez se evapora el disolvente, la película se seca.

4.1.4. Aditivos y Cargas

Los aditivos son componentes que puede llevar la pintura en muy bajas proporciones para mejorar sus propiedades. Existen multitud de ellos, por ejemplo hay aditivos que mejoran la nivelación, anti-cráteres, conservantes o antioxidantes.

Por otro lado, las cargas sirven para dar cuerpo y espesor a la mezcla, generalmente son elementos inorgánicos y mejoran la opacidad del conjunto. Hay un tipo de cargas llamadas *extenders* cuya función es la de mejorar la acción de los pigmentos distribuyéndolos de forma diferente a como lo harían en ausencia de este tipo de cargas (ver figura 4.4).

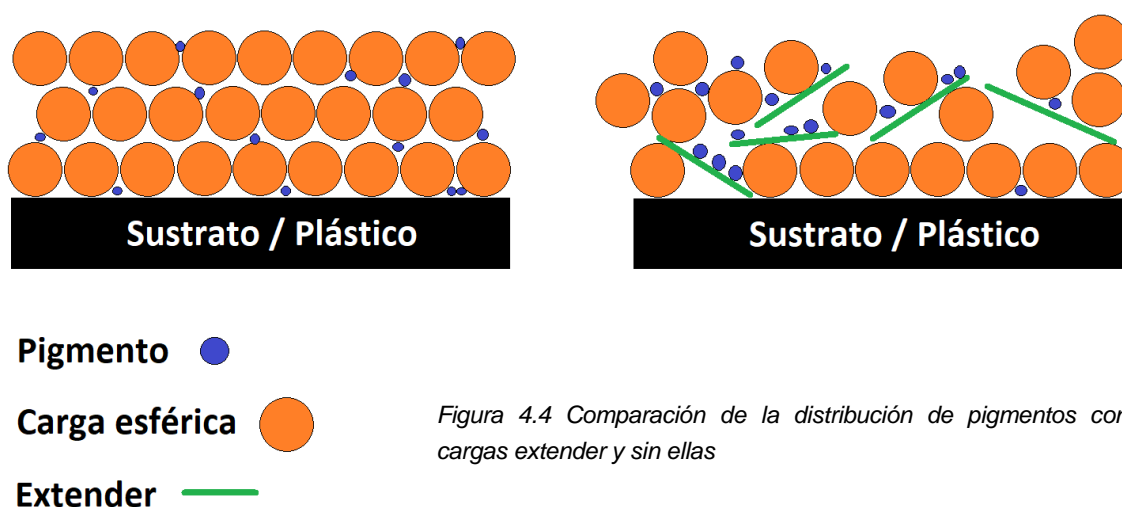


Figura 4.4 Comparación de la distribución de pigmentos con cargas extender y sin ellas

4.2. Pintura 1k y 2k

Es interesante saber que en el mercado existen dos tipos de pintura, la llamada 1k o de un componente y la de dos componentes, 2k.

^[4] Las pinturas monocomponentes se secan mediante la evaporación de los disolventes (ver figura 4.5). Estas pinturas contienen disolventes en grandes proporciones, una de sus finalidades es la de mantener la mezcla en estado líquido.



Figura 4.5 Proceso de secado de pintura 1k

Al contener gran cantidad de disolvente y componentes volátiles, pudiendo llegar al 50% de la concentración, este tipo de pinturas dejan una capa de grosor limitado al secarse ya que gran parte de su contenido se pierde en la atmósfera.

El secado de este tipo de pinturas es realmente rápido, sus propiedades resistentes son buenas, no obstante, no se pueden comparar con las de una pintura de dos componentes.

Las pinturas bicomponentes se secan mediante una reacción química. Esta reacción se origina cuando la pintura y un endurecedor o catalizador se mezclan entrando en contacto entre sí. La reacción genera una reticulación de los monómeros proporcionando gran dureza y resistencia a la mezcla seca, (ver figura 4.6).

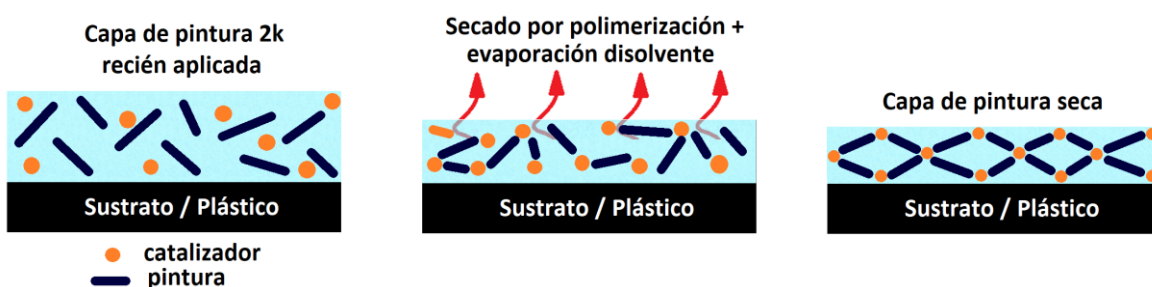


Figura 4.6 Proceso de secado de pintura 2k

Por lo tanto, el endurecedor o catalizador no es aplicado a la pintura hasta momentos antes de pintar, ya que por el contrario haría reacción antes de tiempo.

Estas características conllevan que el tiempo de secado sea elevado, no obstante puede ser acelerado mediante la aplicación de calor.

El espesor de la película resultante de una pintura 2k es mayor a la de 1k debido a que en las pinturas bicomponentes el único disolvente presente es el necesario para ajustar la viscosidad, por lo que se pierde menos material por evaporación. Por lo tanto, para conseguir un mismo grosor de película o *film* serán necesarias más pasadas para una pintura 1k que para una 2k.

En definitiva, las pinturas monocomponentes son una gran opción para las capas intermedias, como son la de imprimación y el color, debido a su alta velocidad de secado y agilización del proceso industrial. Por otro lado, para la capa de barniz es importante utilizar una pintura bicomponente, ya que esta capa estará expuesta a la intemperie y las inclemencias del tiempo. Por ello se coloca un horno a 80 °C a la salida de la aplicación de barniz, acelerando el proceso de secado y mejorando la productividad de la línea.

4.3. Formación de la película

La película o *film* es el resultado que se obtiene una vez las moléculas de pintura aplicadas sobre una superficie se han estabilizado y secado. Resulta ser una capa endurecida de pocas micras de grosor con una nivelación idealmente uniforme.

Inicialmente, la composición de la pintura que se aplica con la pistola es muy poco viscosa, ya que se busca gran fluidez para una fácil manejabilidad y extensión de la pintura. Esta fluidez se consigue añadiendo disolvente a la mezcla.

Es decir, la primera toma de contacto de la pintura con el plástico es la de una mezcla dónde las partículas poliméricas (pintura) se mueven libremente y a medida que el disolvente se va evaporando, estas partículas se van uniendo entre ellas, extendiéndose de tal forma que van formando una película constante. Este fenómeno de creación de la película se denomina coalescencia y se puede visualizar gráficamente en la *figura 4.7*.

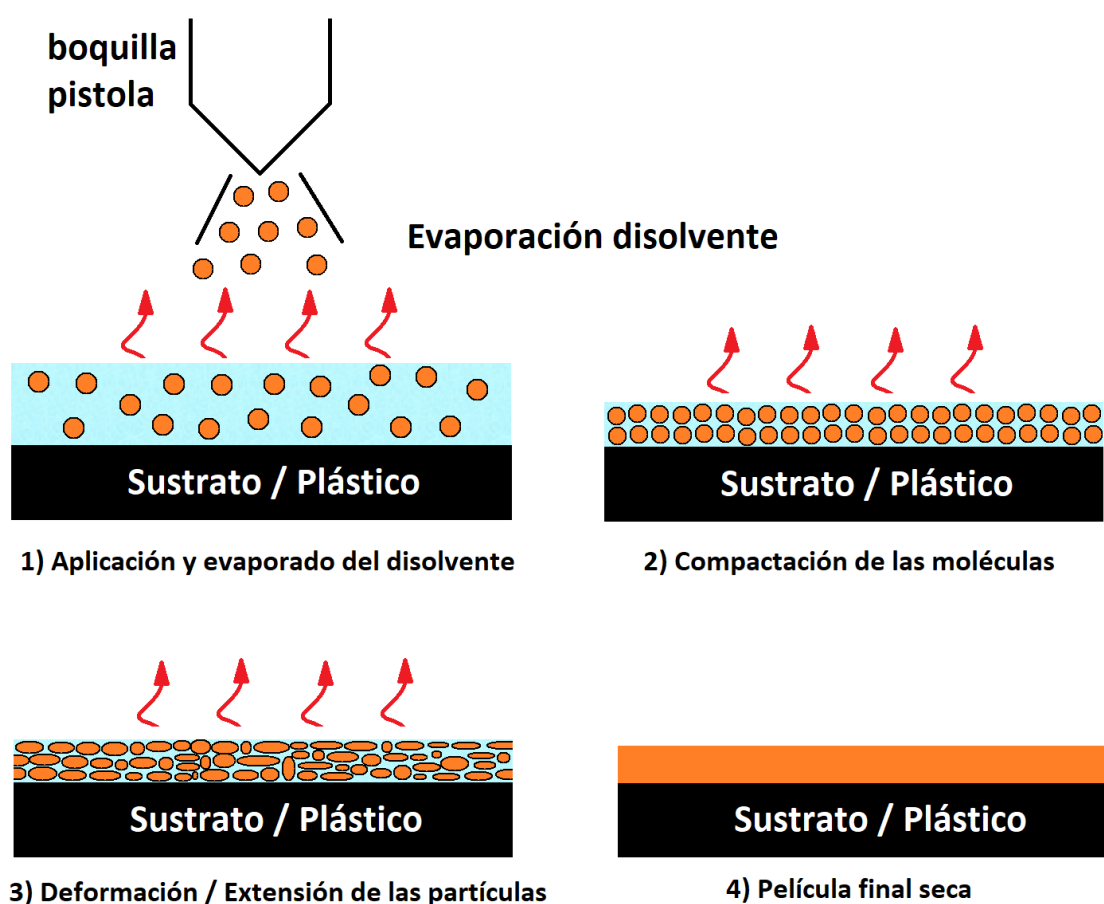


Figura 4.7 Representación de la coalescencia, creación de la película de pintura

Si la formación de la película se realiza de forma correcta, se obtendrán resultados de nivelación aceptables. Se consigue conociendo el proceso y ajustando la formulación de la pintura para conseguir un buen proceso de secado.

En cambio, si la pintura no tiene el tiempo suficiente para extenderse adecuadamente antes de secarse, la nivelación que tendrá nuestro *film* será deficiente. Una mala nivelación puede llegar a ser apreciable a simple vista, generando el aspecto de piel de naranja.

Por otra parte, tan malo es secar demasiado rápido, como secar tardíamente, ya que se pueden generar descuelgues de la pintura.

En la *figura 4.8* se puede diferenciar entre una capa que se ha formado correctamente obteniendo una buena nivelación, nunca es perfecta siempre tiene cierta ondulación. Mientras que en el segundo caso, la formación del film no ha sido satisfactorio, se ha secado antes de tiempo y no ha dado tiempo a que las partículas de pintura se extiendan y se nivelen correctamente, dando lugar a unos elevados niveles de ondulación en la superficie.

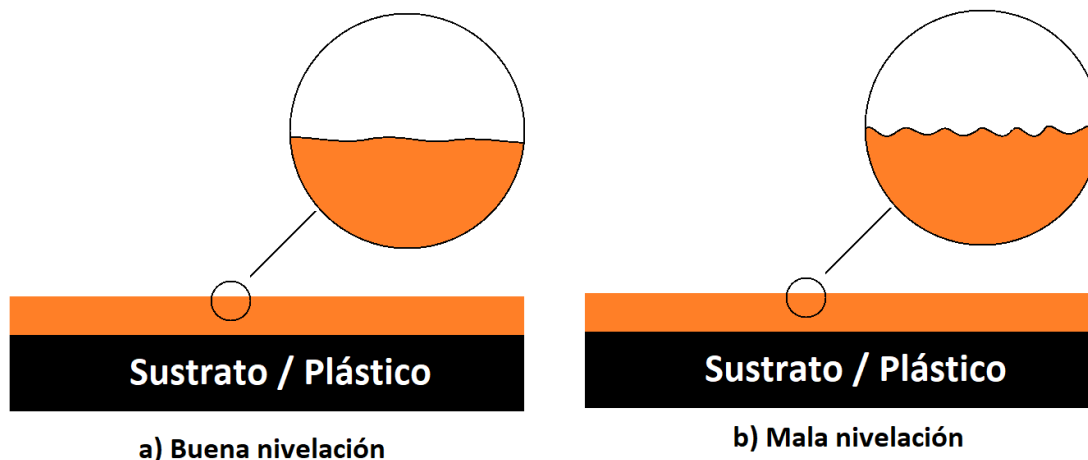


Figura 4.8 Comparativa entre capa bien nivelada (a) y capa con mala nivelación (b)

4.4. Capas aplicadas

Tal y como se ha expuesto anteriormente, para llevar a cabo el proceso de pintado de una pieza en la industria de la automoción, partimos de la pieza en “*negro masa*”, que en nuestro caso es plástico, también denominado sustrato. Directamente sobre el sustrato se aplica la capa de imprimación, no sin antes haber pretratado el sustrato flameándolo adecuadamente. La capa de imprimación suele tener un espesor muy fino, de 5 a 7 micras.

Justo por encima de la capa de imprimación y una vez se ha generado correctamente la película de ésta, se sitúa la capa de color. Dependiendo del tipo de color que se quiere dar al producto, tenemos unos espesores que oscilan entre 10 y 30 micras. La aplicación de color se da en la cabina base.

La última capa y la que da brillo y resistencia a nuestra pieza es la de barniz. Esta capa es la más gruesa de todas, con grosores comprendidos entre 35 y 50 micras. Suele ser una pintura bicomponente, para dar más resistencia a la pieza, por lo que es usual que se seque con la ayuda de un horno que proporcione calor. En la *figura 4.9* se puede apreciar gráficamente la distribución de capas y sus espesores.



Figura 4.9 Vista seccionada de una pieza pintada, se indican las capas aplicadas

Con el fin de hacerse una idea de lo finas que llegan a ser estas capas, el grosor de un cabello humano medio oscila entre las 60 y 110 micras. Por lo tanto, el grosor de un pelo humano se aproxima al grosor de las tres capas, imprimación, color y barniz que se aplican en una pieza.

5. Piel de naranja

5.1. ¿Qué es la piel de naranja?

Se denomina piel de naranja al aspecto que toma la superficie de la pieza pintada cuando aparecen ondulaciones e irregularidades en ella, dando la similitud al de una cáscara de naranja.

Se puede decir que una superficie con alto brillo presenta piel de naranja cuando contiene multitud de pequeñas muescas que son percibidas visualmente como un patrón ondulado en el que se alternan áreas oscuras y claras. Dependiendo del tamaño de esta estructura se puede diferenciar entre onda corta y onda larga (ver figuras 5.1 y 5.2).



Figura 5.1 Estructura de onda corta^[5]

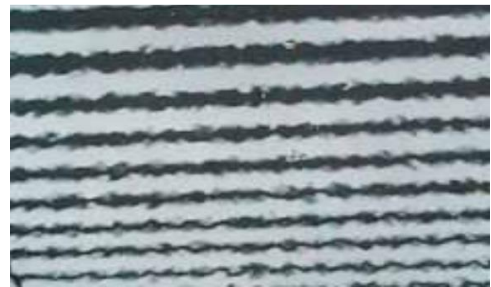


Figura 5.2 Estructura de onda larga^[5]

La piel de naranja se puede apreciar a simple vista, hay que tener en cuenta que diversos factores pueden afectar a la percepción recibida por el observador. La distancia a la que se observa la pieza o el tamaño de la estructura tienen influencia en la impresión visual. Así, estructuras muy finas tan solo pueden llegar a verse a cortas distancias, mientras que si el observador se aleja de la superficie, tan solo se podrán apreciar las estructuras más grandes.

Por ejemplo, a una distancia relativamente corta de 40 cm, el ojo humano puede ver estructuras con un rango de tamaños que van de los 0,3 a los 10 mm. Dándose una concentración dominante alrededor de 1 a 3 mm.

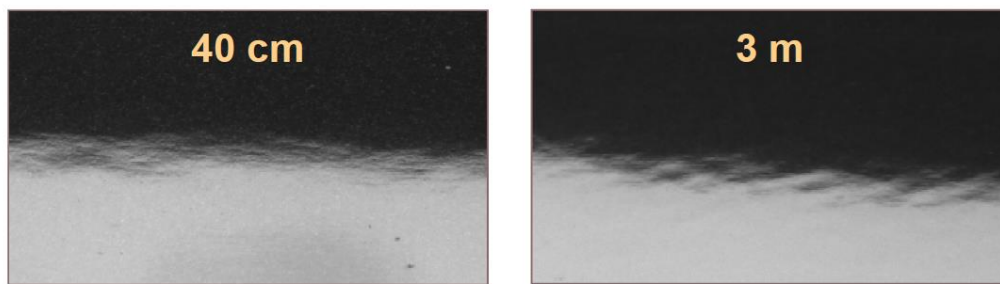


Figura 5.3 Comparativa de visualización de una misma pieza a diferentes distancias

Mientras que si se analiza el mismo panel pintado a una distancia de unos 3 metros, tan solo se podrán apreciar estructuras mayores, de 3 a 30 mm aproximadamente. En la figura 5.3 se muestra como cambia la percepción visual de un mismo panel dependiendo de la distancia de observación.

En la figura 5.4 se puede apreciar como dependiendo de la distancia de observación varían los tamaños de estructura que pueden ser visualizados para una misma pieza pintada.

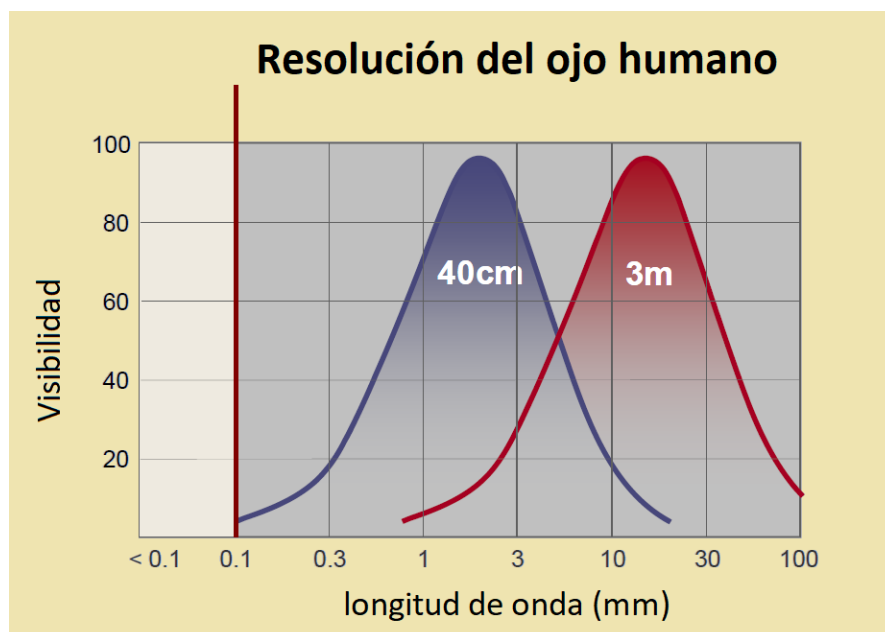


Figura 5.4 Rangos de visión de estructuras (longitud de onda mm) a diferentes distancias [6]

Cada persona puede percibir la piel de naranja de una u otra forma, es algo subjetivo. Por lo que cuantificarla a simple vista es imposible. Con el objetivo de evitar disputas y conseguir un valor objetivo de piel de naranja se utiliza el *Micro-Wave Scan* de *BYK-Gardner*.

5.2. Sistema de medición

El *Micro-Wave Scan* de *BYK-Gardner* (ver figura 5.5), es un aparato de medición que simula la visión del ojo humano a diferentes distancias. Este instrumento es capaz de evaluar las estructuras comprendidas entre 0,1 y 30 *mm*. Consta de un diodo láser que ilumina la superficie a 60° de ésta, la luz reflejada es captada y evaluada por un sensor.



Figura 5.5 *Micro-Wave Scan* de *BYK-Gardner* ^[7]

El método para realizar una medición es deslizar el aparato a través de la superficie unos 10 cm ayudándose de sus pequeñas ruedas. A medida que el *Micro-Wave Scan* se desplaza por la superficie, se va generando un perfil óptico que posteriormente será filtrado por diferentes formulas matemáticas.

La medición final se divide en cinco rangos de longitud de onda, denominados *Wa*, *Wb*, *Wc*, *Wd* y *We* (ver tabla 5.1).

	Rango longitud de onda [<i>mm</i>]
Wa	0,1 - 0,3
Wb	0,3 - 1
Wc	1 - 3
Wd	3 - 10
We	10 - 30

Tabla 5.1 Diferentes rangos de longitud de onda

De tal forma, uniendo los cinco rangos, se obtiene una evaluación objetiva sobre estructuras comprendidas entre 0,1 y 30 *mm*.

En la siguiente representación gráfica (ver figura 5.6), se puede observar el procedimiento seguido por el *Micro-Wave Scan* para realizar una medición.

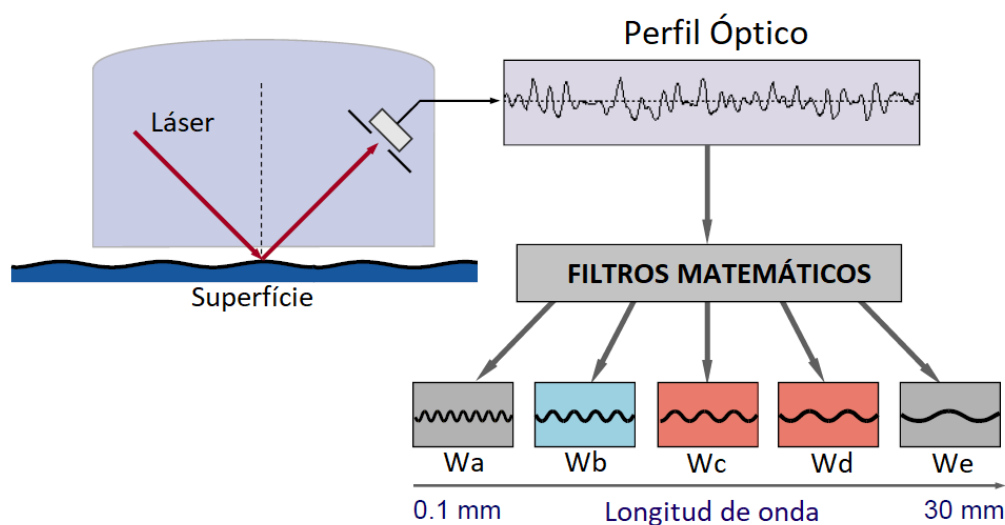


Figura 5.6 Funcionamiento del Micro-Wave Scan^[5]

No obstante, en la industria de la automoción es habitual utilizar tan solo dos rangos de longitud de onda para evaluar una estructura. El LW y SW, Long Wave (onda larga) y Short Wave (onda corta) respectivamente. De hecho, el *Micro-Wave Scan* puede ser configurado para obtener tan solo estos dos valores en caso de que sea necesario (ver tabla 5.2)

	Rango longitud de onda [mm]
SW	0,3 - 1,2
LW	1,2 - 12

Tabla 5.2 Longitudes de onda para SW y LW

Donde después de aplicar las pertinentes formulas matemáticas, el aparato de medición proporcionará los valores de SW y LW, siendo un valor sin unidad normalizado entre 0 y 100, dónde 100 es el peor valor posible.

El valor de SW hará referencia a la cantidad de irregularidad en la estructura que puede ser vista a corta distancia, mientras que el valor de LW, se puede relacionar con la irregularidad apreciada a distancias mayores. De esta forma, con tan solo dos rangos de medición estandarizados, se puede simplificar la medición y posteriormente el estudio sobre ésta.

En la *figura 5.7* queda representado las longitudes de onda generalizados conjuntamente con SW y LW.

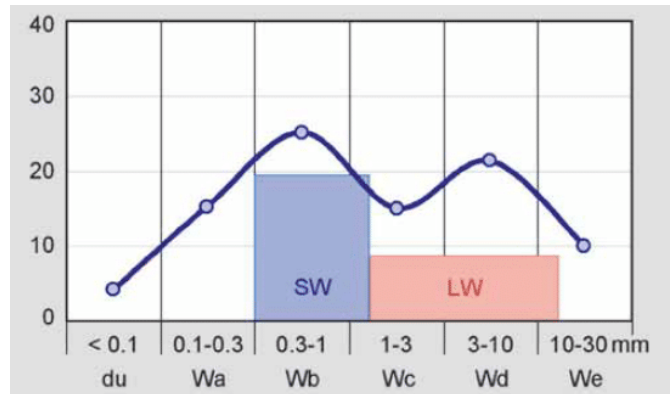


Figura 5.7 Representación de los diferentes rangos de longitud de onda ^[5]

5.3. Short Wave (SW)

El Short Wave (SW) es un parámetro que aporta información sobre la estructura que presenta una superficie pintada. Éste valor es proporcionado por el *Micro-Wave Scan* y toma un valor numérico adimensional comprendido entre 0 y 100, siendo 100 el peor valor posible.

Cada fabricante tiene sus valores de aceptación o rechazo de piezas dependiendo de este valor.

El Short Wave analiza la irregularidad de longitud de onda comprendida entre 0,3 y 1,2 mm. Estos valores son longitudes de onda cortos, los cuales son principalmente visibles si se observa la pieza a corta distancia.

Es sabido que el momento de la producción donde se puede generar un valor de Short Wave alto o bajo es en la aplicación de las capas intermedias. Es decir, en la aplicación de la imprimación o de la base de color.

Esto significa, que si la nivelación de la película de una de estas capas no es la correcta, producirá un valor alto de SW. También se puede asegurar que si la nivelación de la imprimación y de la capa de color es adecuada, no tendremos problemas con los niveles de Short Wave, obteniendo un valor bajo de SW.

Es importante saber que indirectamente, la nivelación de la superficie del sustrato también puede afectar al valor del Short Wave. Esto es debido a que la pintura tiende a copiar la superficie sobre la que se aplica, es decir que si el plástico es muy irregular, la imprimación y el color copiarán esta forma generando unos valores de SW altos. Esto es un factor de

ruido en nuestro caso, ya que no se puede controlar el estado del plástico en “*negro masa*”.

En la *figura 5.8*, se puede observar como cuando tenemos una gran irregularidad en la capa de color o imprimación, obtenemos un valor elevado de Short Wave. Por otra parte para conseguir un valor correcto, vemos que las nivelaciones tanto de imprimación como de color son buenas.

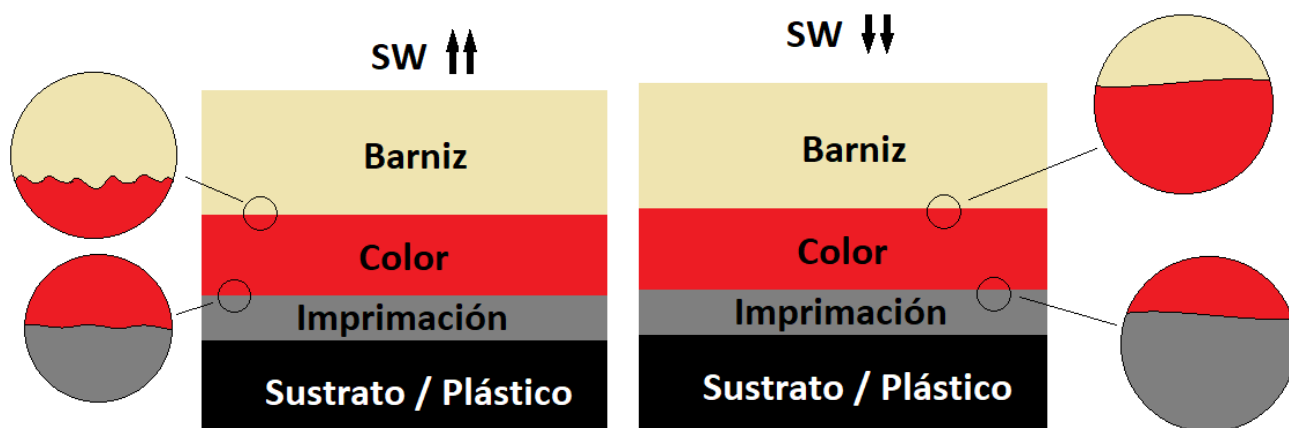


Figura 5.8 Detalle y comparativa de la nivelación entre capas

5.4. Long Wave (LW)

El Long Wave (LW), al igual que el Short Wave es un parámetro que permite cuantificar la piel de naranja de una superficie pintada. Puede tomar los mismos valores que el SW y al igual que él, contra menor sea este valor, mejor apariencia tendrá la pieza.

Se diferencia del Short Wave porque en vez de medir las estructuras visibles a corta distancia, se encarga de cuantificar las irregularidades que presenta una pieza cuando es observada a distancias mayores. Concretamente, analiza longitudes de onda comprendidas entre 1,2 y 12 mm.

Al igual que el Short Wave se veía afectado principalmente por las capas de color e imprimación, el Long Wave se ve afectado en mayor parte por la capa de barniz.

Si la capa de barniz presenta una buena nivelación, no habrá problema ya que el LW tomará un valor bajo. Sin embargo, en caso de que la capa superficial esté desnivelada, con irregularidades, nuestro valor de Long Wave se disparará (ver *figura 5.9*).

Debemos de tener en cuenta que al igual que pasa con las capas de color e imprimación que pueden copiar la ondulación del sustrato, el barniz puede hacer lo propio con la capa de color. Si la capa de color tiene una irregularidad muy pronunciada, ésta será copiada por la película de barniz agravando el Long Wave.

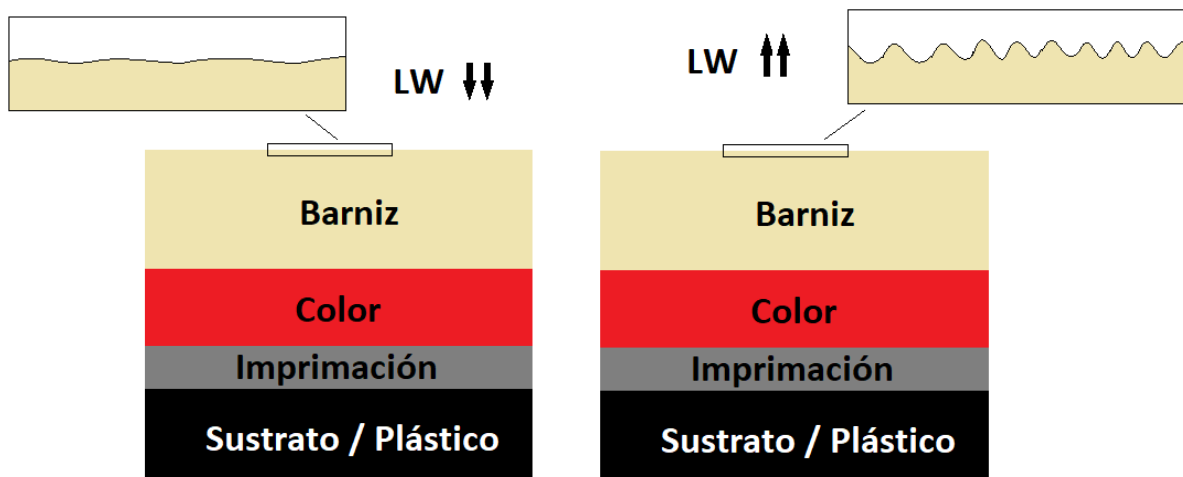


Figura 5.9 Detalle y comparativa de la nivelación de la capa de barniz

5.5. Actuación frente a la piel de naranja y antecedentes

Cuando una pieza contiene unos valores altos de *LW* y *SW* presentará un aspecto de piel de naranja a simple vista.

Cuando se da el caso de que en la inspección visual se detecta una alta apariencia de piel de naranja, se procede a cuantificar este defecto mediante el *Micro-Wave Scan* de *BYK-Gardner*. Si con éste aparato se obtiene un valor superior al máximo aceptado por el cliente, se procederá a retrabajar la zona mediante pulido con el fin de nivelar la superficie hasta rebajar la ondulación o irregularidad que provoca la piel de naranja.

Una vez retrabajada la pieza, se vuelve a medir la zona afectada con el fin de saber si la pieza es apta para enviar a cliente después del retrabajo. En caso afirmativo, ésta pieza sería buena, mientras que si se sigue en valores de rechazo, se volvería retrabajar la pieza hasta entrar dentro del rango de aceptación.

Cabe la posibilidad de que si la piel de naranja o defecto de estructura de la pintura es muy pronunciado, no se pueda llegar a valores óptimos de *LW* y *SW* en la pieza debido a que mientras se retrabaja se va eliminando grosor a la capa de barniz, y puede darse el caso

de llegar a la pintura y dejarla sin protección o brillo. En ese caso, la pieza sería declarada como *Scrap*.

Este procedimiento consume tiempo valioso que puede afectar al ritmo de la producción, conlleva unos costes de retrabajo y otros tantos de *Scrap* debido a piezas defectuosas.

Anteriormente se han realizado estudios para intentar reducir el efecto de la piel de naranja, uno de ellos, realizado por *BYK-Gardner* ^[8], llegó a la conclusión de que utilizando un barniz bicomponente (2k), tal y como se viene usando en la empresa, se puede reducir mucho el valor de *LW* aumentando el micraje o grosor de la película de barniz (ver *figura 5.10*).

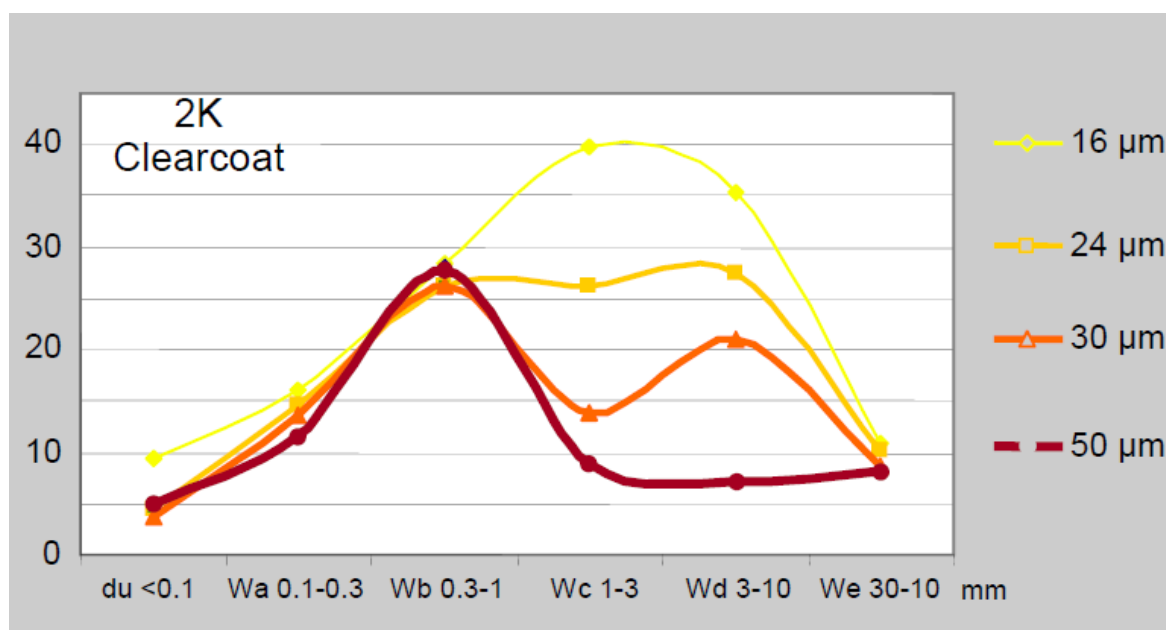


Figura 5.10 Representación de valores de piel de naranja con diferente grosor de la capa de barniz ^[8]

Recordar que *LW* hace referencia a longitudes de onda entre 1,2 y 12 mm (aproximadamente *Wc* y *Wd*). En la *figura 5.10* se ve claramente como aumentando el grosor de la capa de barniz, éstos valores disminuyen drásticamente.

No ocurre lo mismo con los valores de *SW*, los cuales se mantienen constantes en los diferentes micrajes estudiados. Recordar que *SW* son longitudes de onda entre 0,3 y 1,2 mm.

Esto es debido a lo ya comentado en el punto 5.3, el valor de *SW* viene determinado principalmente por la capa de color, por lo que no se ve afectado por alteraciones del barniz. Por otro lado el valor de *LW* viene caracterizado por la capa de barniz, pudiendo llegar a copiar la superficie sobre la que se adhiere (capa de color) e imitando sus

irregularidades si no es lo suficientemente gruesa. Por lo tanto, aumentando el grosor de esta capa de barniz, se evita copiar las irregularidades de la capa inferior.

El propio *BYK-Gardner* ^[8] también realizó otro estudio sobre la influencia del tiempo de *Flash-off*. ^[9] Éste término hace referencia al tiempo que se deja secar o evaporar los solventes de una capa de pintura, hasta aplicar la siguiente. Por ejemplo, entre la capa de color y barniz. En la *figura 5.11* se aprecia cómo *BYK-Gardner* ha realizado un estudio con dos tiempos *Flash-off* distintos, de 9 y 3 minutos. Se ha realizado en una puerta y el capó del vehículo.

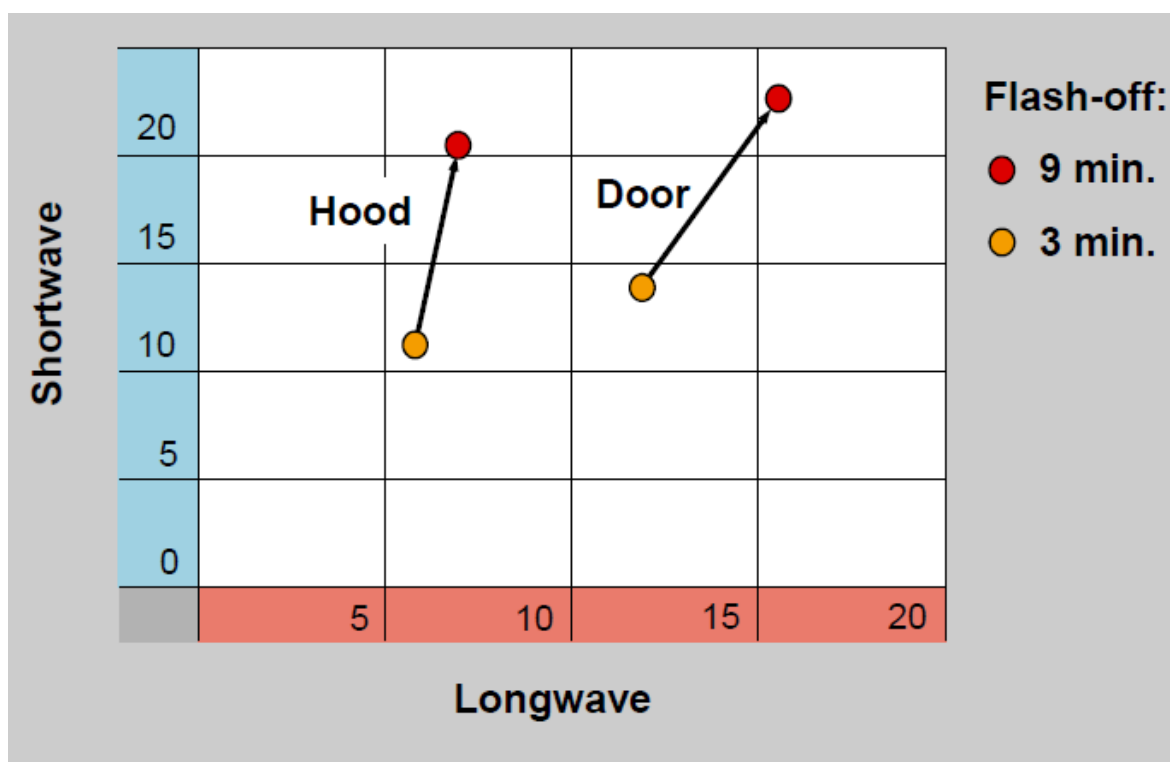


Figura 5.11 Comparativa de valores SW y LW dependiendo del tiempo *Flash-off* ^[8]

En ambos casos se consigue mejor valor de Short wave (SW) con un tiempo de 3 minutos, En cuanto al Long wave (LW), no hay tanta diferencia en el tiempo, pero sí que influye bastante la parte del vehículo estudiada. De todos modos se consiguen de igual manera mejores valores con 3 minutos de evaporado.

Esto aporta información relevante para nuestro caso, ya que en condiciones normales, el tiempo de *Flash-off* podría ser de 3 minutos. Pero si la producción se tiene que parar por alguna incidencia, este tiempo entre capas aumentaría hasta solventar el problema que ha provocado el paro. Afectando claramente a los valores de piel de naranja.

Después de ver los antecedentes, el presente proyecto se va a centrar en intentar reducir la

cantidad de piezas que presentan valores de rechazo de LW y SW . Así, se podrán reducir los costes de retrabajo y ahorrar tiempo.

En los estudios que se llevarán a cabo se pretende encontrar que parámetros de la aplicación afectan a la piel de naranja y que influencia puede llegar a tener la formulación de la pintura.

6. Trabajo de campo

En el siguiente punto se explica donde se va a centrar la problemática, en que modelos de paragolpes se hará el estudio y que factores se tendrán en cuenta para la experimentación.

6.1. Planteamiento del problema

El estudio se va a centrar en los modelos de *SEAT*, paragolpes delanteros de *Ibiza*, *León*, *León FR* y *Arona*. Esto es debido a que son los modelos con más producción y los que más restricciones por parte del cliente tienen.

El proceso de pintado de una pieza de parachoques es muy complejo. Multitud de variables intervienen en él, unas controlables y otras no. Para poder decidir que variables pueden afectar al resultado final se ha realizado un *brainstorming* con ayuda de profesionales en el sector.

En ésta lluvia de ideas, se obtuvieron multitud de factores que pueden ser relevantes. Entre ellos, destacan los siguientes:

- Método de aplicación (Aerográfico, Electrostático)
- Temperatura en la Cabina Base
- Humedad en la Cabina Base
- Parámetros aplicación de la capa Base o Color (Distancia aplicación, presión aplicación, caudal, abanico, atomización)
- Viscosidad de la pintura
- % Disolvente pintura
- Tiempo transcurrido entre capas (tiempo de secado / curado, debido a paros en la línea)
- Temperatura Cabina Barniz
- Humedad Cabina Barniz

- Viscosidad Barniz
- Parámetros aplicación del Barniz (Distancia aplicación, presión aplicación, caudal, abanico, atomización)
- Grosor / Espesor de la capa barniz
- Formulación pintura (relación pigmentos / ligante / disolvente)
- Velocidad de la cadena
- Temperatura del horno de secado

6.2. Aceptación y descarte de factores

Debido a la gran cantidad de factores que se han encontrado mediante la realización del *brainstorming*, es necesario hacer una criba de éstos para poder simplificar el problema.

Varios de estos factores se han descartado debido a que son estables y trabajan en el rango adecuado para una correcta producción. La estabilidad de estos factores se ha determinado mediante un estudio de capacidad SPC calculando su índice de capacidad del proceso c_{pk} .

Un estudio de capacidad SPC, *Statistical process control* o Control Estadístico de Procesos en castellano, es un método de calidad que mediante la aplicación de herramientas estadísticas monitoriza un proceso. Generando unos gráficos de control en los que quedan fijados los límites superior e inferior de tolerancia para un proceso.

Dentro de éste estudio de capacidad, se genera el indicador c_{pk} el cual aporta la información necesaria para saber si el proceso es capaz, o si por lo contrario es inestable. Según los expertos el indicador c_{pk} debe tomar un valor mínimo de 1,33 para considerar el proceso estable.

Los factores descartados debido a que son considerados estables y trabajando en un valor óptimo, son los siguientes:

- Temperatura en la Cabina Base
- Humedad en la Cabina Base
- Temperatura Cabina Barniz

- Humedad Cabina Barniz
- Velocidad de la cadena
- Temperatura del horno de secado

No obstante, a pesar de que son descartados para el estudio, se sabe que si estos factores tomaran valores extremos, como por ejemplo una temperatura demasiado baja fuera del rango de tolerancia, obviamente afectaría negativamente en la piel de naranja de las piezas.

En el *anexo A* se muestra el estudio de capacidad para cada uno de estos factores.

Otros factores descartados son los siguientes:

- Viscosidad de la pintura
- % Disolvente pintura
- Viscosidad Barniz

El motivo de su descarte es debido a que cada pintura, dependiendo del color y el proveedor se prepara con un porcentaje de disolvente y con una viscosidad recomendada por el mismo proveedor. Lo mismo ocurre con el barniz o laca. Por lo que no sería coherente trabajar fuera de los valores establecidos por el proveedor.

En cuanto al factor del método de aplicación, si se hace con pistolas mediante el método aerográfico o mediante copas electrostáticamente, se ha decidido prescindir de él. Esto es debido a que tan solo se cuenta con un robot por lado capaz de pintar electrostáticamente en la actualidad, por lo que no se puede pintar una pieza únicamente con el método electrostático, sino que hay que combinar ambas técnicas. Además, en todos los modelos y colores en los que se va a realizar el estudio, el proceso de pintado se realiza combinando ambos métodos.

La formulación de la pintura es un factor importante a tener en cuenta, no todos los colores tienen la misma formulación, el tipo de pigmentos por los que está compuesta, su cantidad, el ligante utilizado o los disolventes que contiene cambian drásticamente de un color a otro. Así, la nivelación superficial de la pintura no se comporta igual en todos los colores. Por eso no se puede comparar una pieza pintada con colores diferentes.

Para ver como varía este factor al nivel de piel de naranja, se procederá a realizar un

estudio sobre estos valores con diferentes colores.

Los parámetros de la aplicación también se consideran muy importantes. El modo en que los robots pintan las piezas puede ser determinante para la obtención de una pieza con una buena nivelación. El factor del grosor o espesor de la capa de barniz también viene determinado por los parámetros de aplicación, ya que depende de cómo se pinte obtendremos mayor o menor grosor.

Dentro de los parámetros de aplicación de los robots entran en juego muchas variables, por lo que se deberá hacer un filtrado de ellas con el fin de hacer viable el experimento. Se procederá a realizar un análisis factorial con los posibles factores de aplicación de los robots que puedan tener impacto en la estructura de la pintura.

El tiempo transcurrido entre una capa u otra, es un factor de ruido. Este factor no se puede controlar más allá del valor nominal establecido. Ya que este valor nominal, que no es más que el tiempo transcurrido desde que las piezas salen de una cabina de pintado hasta que llegan a la siguiente mientras van circulando por la cadena, puede verse modificado por paros inesperados en la producción.

Idealmente, al no haber paros, el tiempo siempre es el mismo, ya que tal y como se ha demostrado anteriormente, la velocidad de la cadena es siempre constante. Pero pueden aparecer paros inesperados que inducen una variabilidad al tiempo que se deja secar una capa de pintura hasta que se aplica la siguiente.

A pesar de que se sabe que esto tiene un efecto en la piel de naranja, tal y como se ha demostrado en el punto 5.5, a día de hoy no es viable hacer un estudio debido al alto costo que supondría. Realizar paros experimentales en la cadena tiene un gran impacto sobre la producción, por lo que se ha descartado realizarlo por el momento.

7. Influencia de la formulación de la pintura

El capítulo 7 se centra en descubrir que influencia tiene la formulación de la pintura en la piel de naranja. Más específicamente sobre el valor de onda corta *SW*.

7.1. Planteamiento

Tal y como se ha argumentado en el punto 5.3, la nivelación de la capa de color influye principalmente en el valor de onda corta (*SW*). Por lo que será el valor de *SW* el que se tendrá como referencia para analizar la influencia que tiene la formulación de una pintura.

En el presente caso, la formulación de la pintura no es conocida, es algo confidencial que tan solo sabe el proveedor. Por lo que no se puede analizar cómo afecta el ratio de pigmentos, o el tipo de ligante en la piel de naranja.

Por otra parte, se puede dejar reflejado como varía el valor de *SW* dependiendo del color utilizado, ya que cada color posee una formulación distinta para llegar a su tonalidad.

Esto se puede llevar a cabo fijando parámetros que puedan inducir cierta variabilidad en el valor de referencia. Para la realización de este experimento se han realizado cuatro pruebas, una con cada modelo de parachoques, *León*, *León FR*, *Ibiza* y *Arona*. Una vez las piezas están montadas en el carro, al haber cuatro posiciones distintas, dos por cada lado, se ha decidido hacer la prueba con las piezas que van montadas en la misma posición.

También se ha programado el código del robot de pintado para que tenga los mismos parámetros para todas las pruebas, de esta forma se evita que influyan los parámetros de la aplicación.

Los colores en los que se han pintado las piezas para ver la variabilidad que supone una formulación diferente en la pintura son los siguientes:



7.2. SEAT León

La primera prueba se ha realizado en el modelo de paragolpes del *SEAT León*. La geometría de un parachoques de este modelo se muestra en la *figura 7.1*. En ella se han establecido 6 zonas de medición de estructura en la pieza, son las siguientes:

- 1 ENDCAP RH
- 2 FARO RH
- 3 FRONTAL RH
- 4 FRONTAL LH
- 5 FARO LH
- 6 ENDCAP LH

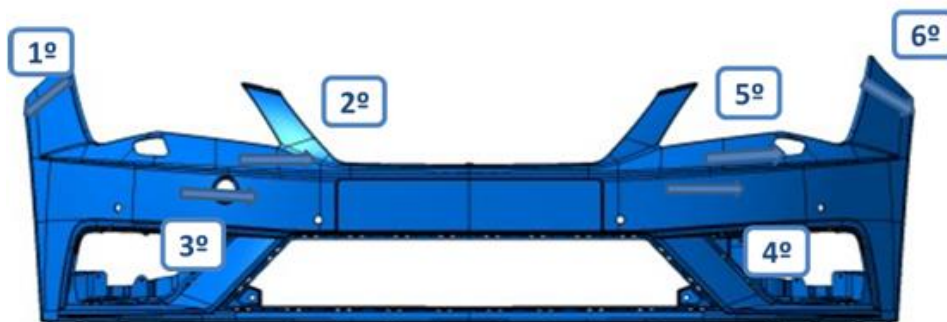


Figura 7.1 Geometría del modelo SEAT León y sus zonas de medición

La medición de las piezas han sido realizadas por un profesional encargado de ello, los resultados obtenidos después de realizar dos replicas aleatorizadas en los cinco colores diferentes son los presentados en la *tabla 7.1*.

SEAT LEÓN															
ZONA DE MEDICIÓN	NEGRO MYTHOS			BLANCO CANDY			BLANCO NEVADA			MYSTERY BLUE			MAGNETIC TECH		
	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW
END CAP RH	17,4	17,4	17,40	19,2	19,1	19,15	35,2	35,3	35,25	31,5	31,1	31,3	26,7	27,0	26,9
FARO RH	15,2	15,6	15,40	22,0	22,2	22,10	33,0	32,8	32,90	32,6	33,0	32,8	25,5	25,9	25,7
FRONTAL RH	17,2	17,0	17,10	24,6	24,8	24,70	35,8	35,4	35,60	34,1	34,8	34,5	28,6	28,4	28,5
FRONTAL LH	16,9	17,1	17,00	24,7	24,7	24,70	35,5	35,1	35,30	35,2	34,9	35,1	28,1	28,8	28,5
FARO LH	15,1	15,4	15,25	21,8	21,9	21,85	32,5	32,5	32,50	32,8	32,7	32,8	25,6	25,6	25,6
END CAP LH	16,9	17,2	17,05	19,8	19,4	19,60	35,8	35,6	35,70	31,3	31,4	31,4	27,0	27,1	27,1

Tabla 7.1 Resultados de SW obtenidos en el modelo SEAT León para cada color

Se puede apreciar como los valores de SW pintando en unas mismas condiciones varían, por lo que se puede asegurar que este valor depende de la formulación de la pintura en el modelo de *SEAT León*.

En la *figura 7.2*, se observa fácilmente que colores presentan un peor valor.

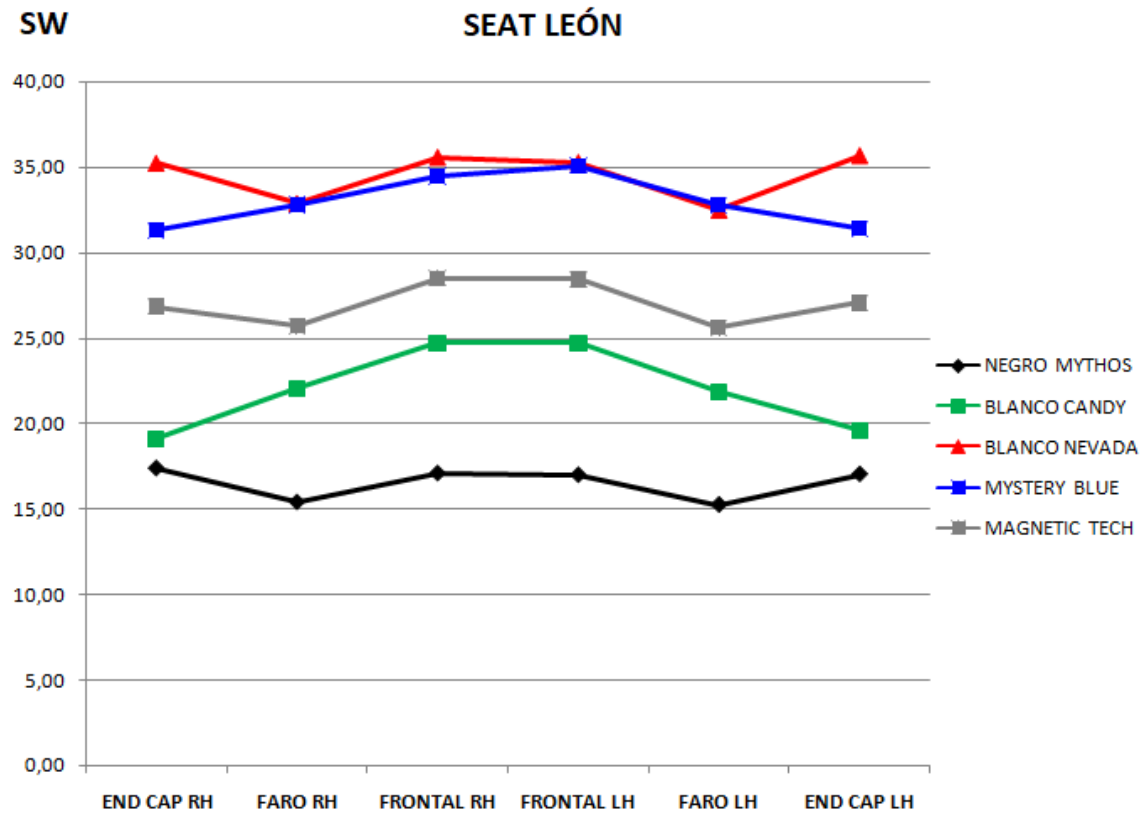


Figura 7.2 Gráfico de resultados de SW por colores en cada zona de medición

Los colores *Blanco Nevada* y *Mystery Blue* destacan sobre el resto por presentar unos peores valores de piel de naranja (SW).

Por otro lado, el color *Negro Mythos* es claramente el color que mejor resultado da frente a la piel de naranja de onda corta.

7.3. SEAT León FR

De forma análoga se ha realizado el mismo experimento en los modelos restantes. La geometría del parachoques del *SEAT León FR* es la mostrada en la *figura 7.3*, en ella se puede ver como se han realizado las 6 mediciones establecidas en la prueba anterior.

1 ENDCAP RH

2 FARO RH

3 FRONTAL RH

4 FRONTAL LH

5 FARO LH

6 ENDCAP LH



Figura 7.3 Geometría del modelo SEAT León FR y sus zonas de medición

En la *tabla 7.2* se presentan los resultados obtenidos en esta prueba.

SEAT LEÓN FR															
ZONA DE MEDICIÓN	NEGRO MYTHOS			BLANCO CANDY			BLANCO NEVADA			MYSTERY BLUE			MAGNETIC TECH		
	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW
END CAP RH	18,2	18,4	18,30	20,8	21,0	20,90	37,4	37,2	37,30	35,6	34,0	34,80	29,9	30,4	30,15
FARO RH	17,9	17,6	17,75	23,2	22,8	23,00	33,2	33,2	33,20	38,0	37,4	37,70	30,8	30,2	30,50
FRONTAL RH	17,9	17,5	17,70	23,9	24,1	24,00	34,9	35,2	35,05	35,2	35,6	35,40	32,1	31,2	31,65
FRONTAL LH	16,5	17,0	16,75	23,5	23,5	23,50	35,4	35,2	35,30	34,5	35,0	34,75	29,9	30,5	30,20
FARO LH	16,9	17,5	17,20	22,6	22,4	22,50	33,3	33,6	33,45	37,0	36,2	36,60	29,6	30,1	29,85
END CAP LH	18,0	18,2	18,10	21,2	21,1	21,15	35,5	35,4	35,45	36,0	35,9	35,95	28,8	29,0	28,90

Tabla 7.2 Resultados de SW obtenidos en el modelo SEAT León FR para cada color

Echando un simple vistazo a los datos se puede apreciar cómo se sigue la misma tendencia que en el caso anterior. No obstante, en la *figura 7.4*, quedan graficados los datos.

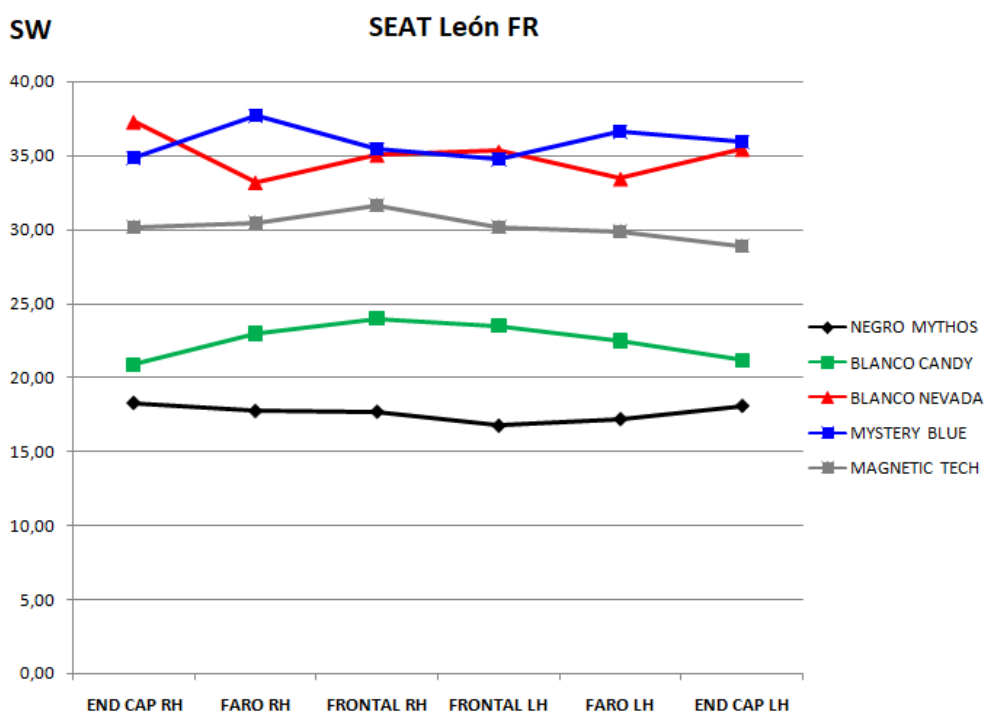


Figura 7.4 Gráfico de resultados de SW por colores en cada zona de medición

En este caso, el *Negro Mythos* sigue siendo el color que presenta unos mejores valores de estructura mientras que tanto el *Blanco Nevada* como el *Mystery Blue* son los peores. Tal y como pasaba en el caso del *SEAT León*.

7.4. SEAT Ibiza

La geometría del *SEAT Ibiza* es la mostrada en la figura 7.5, se siguen realizando 6 puntos de medición.

1 ENDCAP RH

2 FARO RH

3 FRONTAL RH

4 FRONTAL LH

5 FARO LH

6 ENDCAP LH

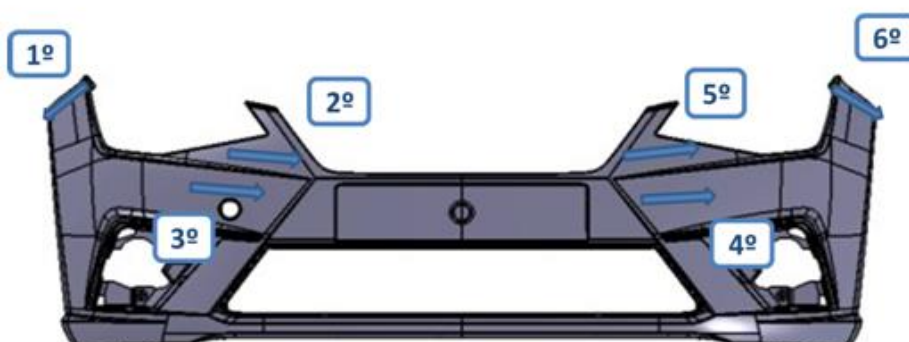


Figura 7.5 Geometría del modelo SEAT Ibiza y sus zonas de medición

En la *tabla 7.3* se presentan los resultados obtenidos para la prueba sobre el parachoques del *Ibiza*.

SEAT IBIZA															
ZONA DE MEDICIÓN	NEGRO MYTHOS			BLANCO CANDY			BLANCO NEVADA			MYSTERY BLUE			MAGNETIC TECH		
	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW
END CAP RH	11,1	10,6	10,85	15,0	15,6	15,30	34,8	34,0	34,40	27,7	27,5	27,60	25,2	24,9	25,05
FARO RH	15,6	15,4	15,50	18,5	17,9	18,20	31,3	31,4	31,35	26,0	25,8	25,90	27,7	27,1	27,40
FRONTAL RH	14,0	14,2	14,10	18,5	18,6	18,55	32,5	32,4	32,45	29,8	30,1	29,95	31,2	30,7	30,95
FRONTAL LH	14,7	14,5	14,60	19,0	19,2	19,10	31,6	31,9	31,75	29,4	29,9	29,65	31,0	31,2	31,10
FARO LH	16,0	15,9	15,95	19,0	17,6	18,30	32,4	32,0	32,20	27,2	26,4	26,80	27,1	27,1	27,10
END CAP LH	10,9	11,1	11,00	15,2	15,2	15,20	33,6	34,2	33,90	27,0	27,6	27,30	25,0	25,6	25,30

Tabla 7.3 Resultados de SW obtenidos en el modelo SEAT Ibiza para cada color

Graficando la media de las dos replicas se obtiene el gráfico presente en la *figura 7.6*.

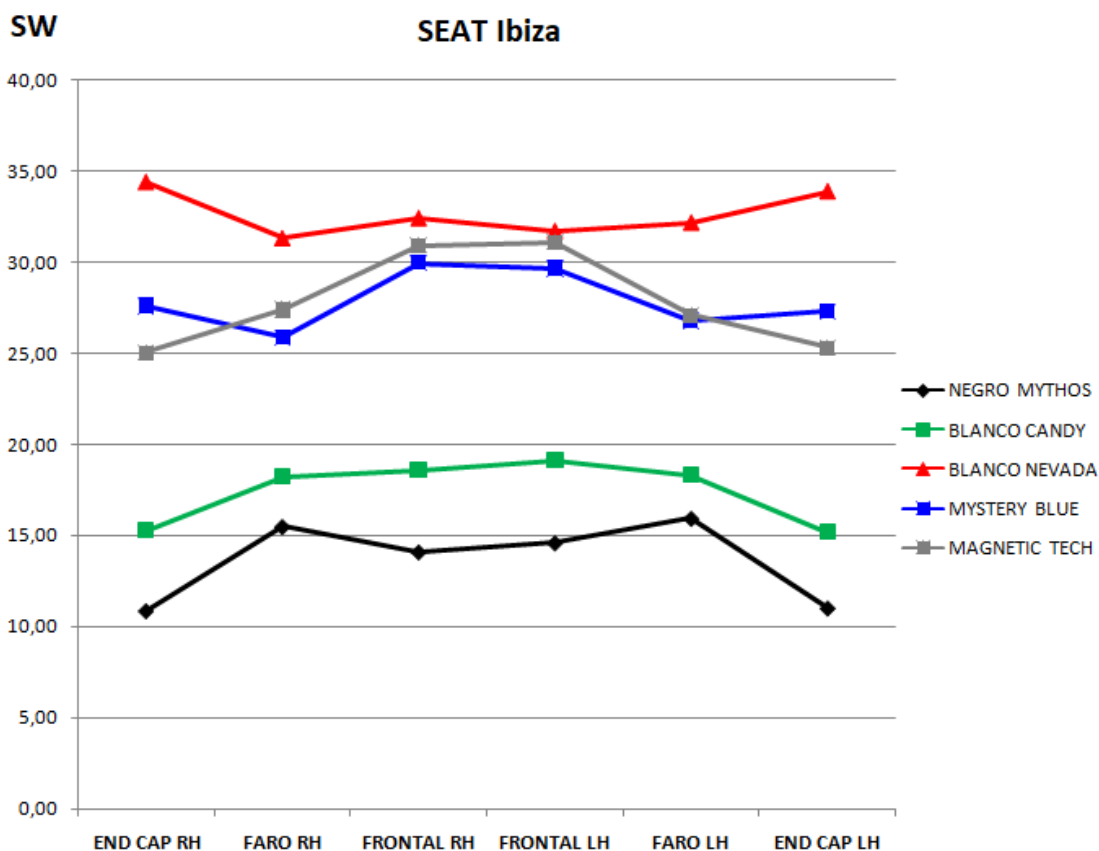


Figura 7.6 Gráfico de resultados de SW por colores en cada zona de medición

En la *figura 7.6*, se aprecia cómo el *Negro Mythos* sigue siendo el color con menos piel de naranja (SW) con diferencia del resto, destaca el *Blanco Nevada* por ser el peor.

Destacar que en este caso el *Mystery Blue* ha pasada de ser el peor color conjuntamente con el *Blanco Nevada* para pasar a estar a niveles del *Magnetic Tech*.

7.5. SEAT Arona

Por último, se ha realizado el mismo experimento, siguiendo la misma pauta con el modelo del *SEAT Arona*. Dos replicas de pintado para cada color y mediciones realizadas por un profesional.

La geometría de este modelo es la presentada en la *figura 7.7*. Se siguen realizando 6 mediciones sobre el paragolpes.

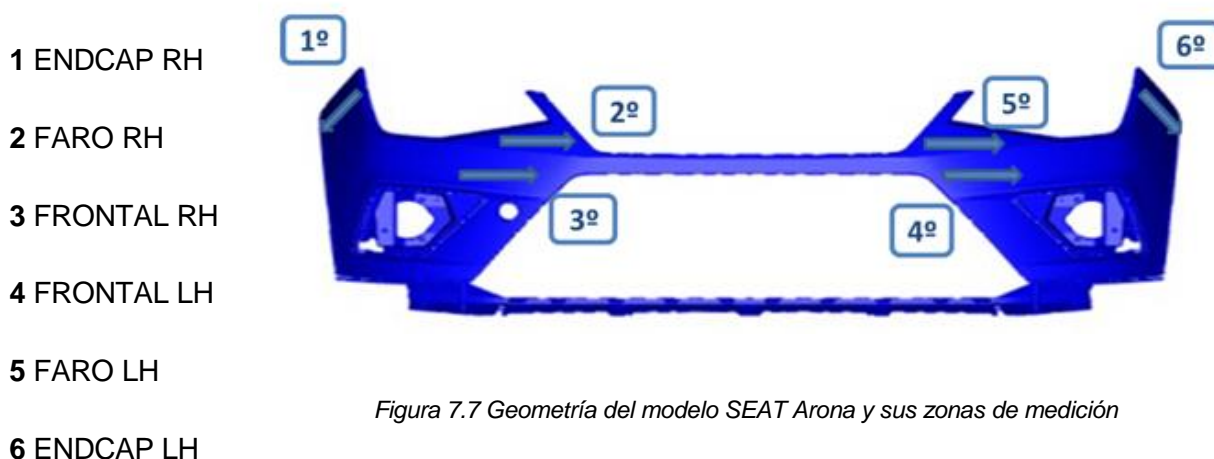


Figura 7.7 Geometría del modelo SEAT Arona y sus zonas de medición

Después de realizar las mediciones, los resultados obtenidos son los indicados en la *tabla 7.4*.

SEAT ARONA															
ZONA DE MEDICIÓN	NEGRO MYTHOS			BLANCO CANDY			BLANCO NEVADA			MYSTERY BLUE			MAGNETIC TECH		
	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW	SW [1]	SW [2]	SW
END CAP RH	13,1	13,5	13,30	20,2	20,7	20,45	35,2	35,4	35,30	32,3	32,0	32,15	31,0	30,9	30,95
FARO RH	11,8	11,5	11,65	21,1	21,0	21,05	35,2	35,4	35,30	30,2	29,8	30,00	31,5	29,8	30,65
FRONTAL RH	11,7	11,2	11,45	23,2	22,4	22,80	40,0	38,5	39,25	35,4	32,6	34,00	35,4	32,5	33,95
FRONTAL LH	10,9	11,0	10,95	21,7	22,5	22,10	35,8	36,7	36,25	34,6	34,8	34,70	30,9	31,8	31,35
FARO LH	11,5	11,0	11,25	20,8	20,9	20,85	32,9	34,5	33,70	28,2	28,9	28,55	27,2	30,2	28,70
END CAP LH	13,3	13,2	13,27	20,1	20,0	20,05	34,0	34,9	34,45	31,6	32,0	31,80	29,8	30,7	30,25

Tabla 7.4 Resultados de SW obtenidos en el modelo SEAT Arona para cada color

Graficando estos datos por colores se obtiene la *figura 7.8*. En cual se sigue la tendencia de los modelos anteriores. Se confirma por tanto que el *Negro Mythos* es el color que mejores resultados da frente a la piel de naranja de onda corta (SW), mientras que el *Blanco Nevada* es el peor.

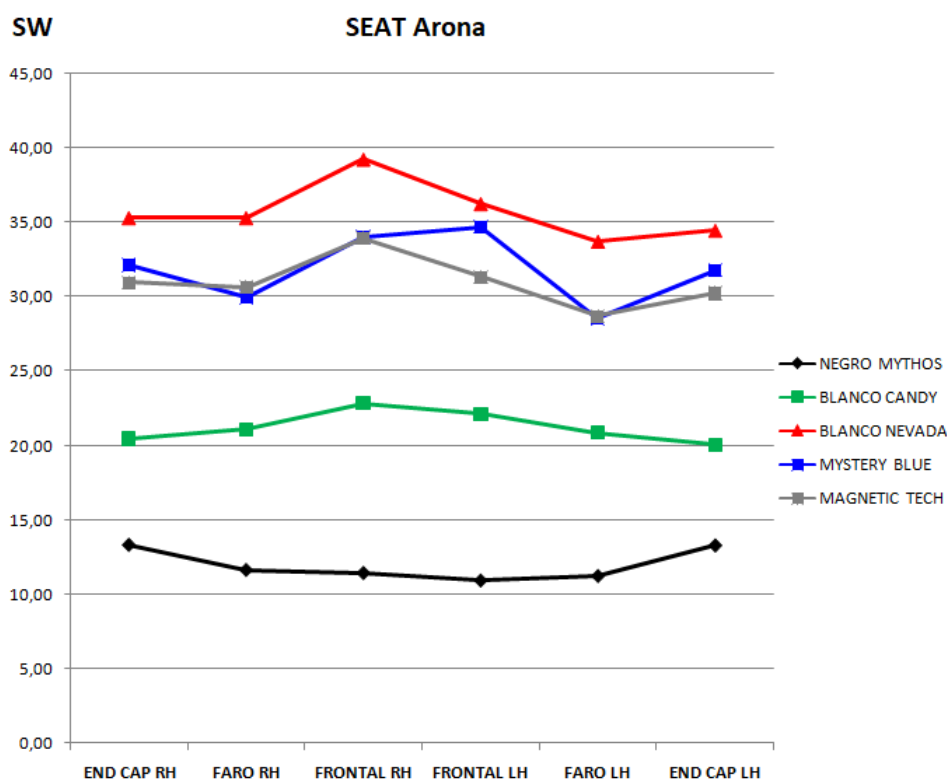


Figura 7.8 Gráfico de resultados de SW por colores en cada zona de medición

7.6. Conclusiones

Después de haber realizado el experimento para ver cómo afecta la formulación de la pintura en la piel de naranja de onda corta (SW), se puede llegar a la conclusión de que este factor afecta al valor referencia de SW. Dependiendo de la formulación de la pintura, es decir, el color aplicado, obtendremos un valor u otro de SW.

El resultado obtenido en los cuatro modelos es el mismo en mayor o menor medida. Teniendo en cuenta que el experimento se ha realizado bajo las mismas circunstancias bajo control, se puede afirmar que el color *Negro Mythos* tiene una formulación que permite obtener valores de piel de naranja más bajos que el resto de colores. Mientras que en el color *Blanco Nevada* ocurre totalmente lo contrario, su formulación dispara los valores de SW dando un peor aspecto a la superficie pintada.

Estas conclusiones no sirven para intentar reducir el valor de *SW* de los colores en los que se ha obtenido un valor mayor. Ya que la formulación de cada color no se puede cambiar. Viene dada por los proveedores.

El color tampoco se puede alterar ya que es una exigencia del cliente *SEAT*. No obstante, estos datos aportan una información valiosa sobre cada color, y sirve de precedente para no sembrar alerta en caso de obtener valores altos de *SW* en colores como el *Blanco Nevada* o el *Mystery Blue*. Mientras que si se obtienen estos mismos valores en una pieza pintada en *Negro Mythos*, quedaría claro que no sería algo normal y sería un problema que habría que encontrar su origen para solventarlo.

8. Influencia de los parámetros de aplicación

El capítulo 8 se centra en la experimentación para descubrir que factores de la aplicación de barniz tienen una influencia sobre los valores de *LW*.

8.1. Planteamiento

En el punto anterior se ha visto la influencia sobre los valores de onda corta (*SW*). Tal y como se ha explicado, éste valor viene dado principalmente por la nivelación del *film* de color. Por lo que se ha realizado un estudio de cinco colores diferentes.

Por otro lado, el valor que se obtiene de onda larga (*LW*), viene alterado principalmente por la nivelación de la película o *film* de barniz. Esta capa protectora que se le aplica a las piezas para dar resistencia y protección está formada por el mismo barniz para todos los modelos.

El objetivo de este experimento es el de encontrar que parámetros controlables de la aplicación del robot de la cabina de barniz afectan al valor de piel de naranja de onda larga (*LW*).

Primeramente se ha decidido que factores van a tomar parte en el estudio. Surgieron los siguientes:

- Velocidad del robot
- Caudal de pintura
- Distancia de aplicación
- Abanico
- Atomización o pulverización
- Revoluciones
- Tensión

De los cuales se han descartado tanto la *Tensión* como las *Revoluciones*, al ser factores que solo tienen sentido en método de pintado electrostático. Pues son parámetros de

copas y no de pistolas siendo la aplicación de barniz realizada únicamente de manera aerográfica mediante pistolas.

Por otro lado, la distancia de aplicación también ha sido descartada debido a que los robots de cabina barniz siempre pintan a una distancia aproximada de 20 cm.

Por lo tanto, restan 4 factores que se tendrán en cuenta para realizar un diseño factorial.

- **Velocidad del robot:** La velocidad a la que se efectúa una pasada mientras se rocía pintura en la pieza, se mide en *mm/s*.
- **Caudal de pintura:** El caudal de pintura que circula por la pistola mientras se pinta. La cantidad de pintura que es rociada sobre la pieza en un tiempo determinado. En el presente caso se mide en *ml/min*.
- **Abanico:** El abanico es la amplitud de aspersión de la pistola de pintura. Con un abanico amplio se conseguirá abarcar más superficie en una sola pasada que con un abanico más estrecho. Se mide en *Nl/min*, litros en condiciones normales por minuto. En la *figura 8.1* se puede apreciar un abanico estrecho y un abanico amplio.

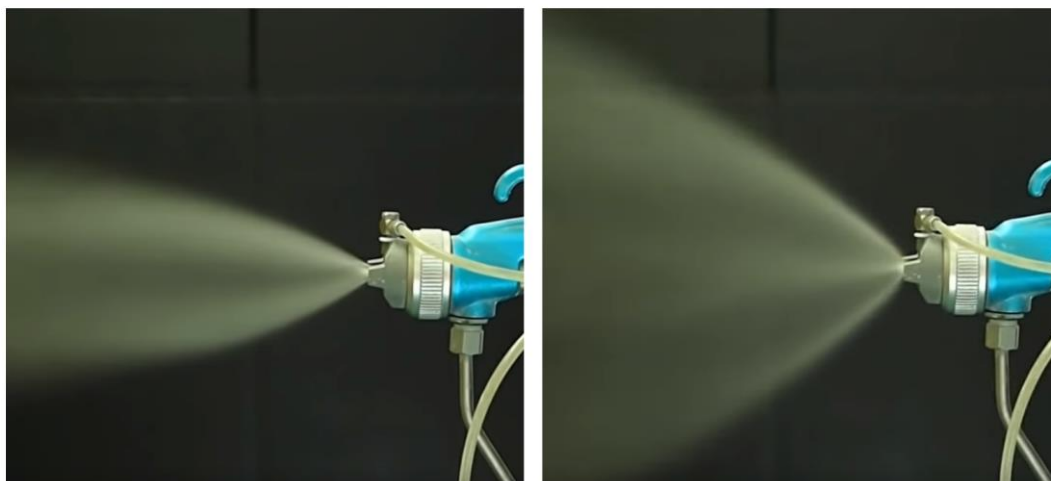


Figura 8.1 Diferentes tipos de abanico, estrecho y amplio^[10]

- **Atomización o pulverización:**^[11] La pintura circula en estado líquido mediante los conductos de la pistola, la atomización se encarga de seccionar o dividir éste líquido en gotas. De tal modo la pieza a pintar recibe una pulverización de pintura en forma de minúsculas gotas. La atomización se mide en *Nl/min*.

8.2. Experimentación

Este punto se centra en la metodología de experimentación llevada a cabo y los experimentos realizados, así como sus conclusiones.

8.2.1. Diseño de experimentación

Se va a realizar un diseño factorial de dos niveles. Con tal de abaratar costos e intentar tener un impacto mínimo sobre la producción, se ha optado por realizar un diseño factorial fraccional 2^{4-1} y no un uno completo 2^4 .

Esto es debido a que en un diseño factorial fraccional 2^{4-1} se tiene resolución IV que todo y no ser completa, permite tan solo confundir factores principales con interacciones de tres factores, las cuales no se consideran significativas. También puede llegar a confundir interacciones de dos factores entre ellas.

8.2.2. Elección de los niveles

Una vez se ha decidido cual será el diseño y los factores que tomarán parte en él, se deben asignar unos valores de nivel alto y bajo de los factores.

Después de consensuarlo con expertos en la materia, se ha decidido que los niveles serán los presentados en la *tabla 8.1*.

	Valores	
	Bajo	Alto
Velocidad robot [mm/s]	900	1200
Caudal [ml/s]	550	650
Abanico [NI/min]	230	270
Atomización [NI/min]	230	280

Tabla 8.1 Valores de los niveles para cada factor

Los experimentos se han realizado bajo unas mismas condiciones, humedades y temperaturas de las cabinas de pintado bajo control tal y como muestra el estudio de capacidad, (ver *anexo A*).

Las mediciones del *LW* han sido llevadas a cabo por un profesional encargado de ello mediante el aparato de medición *Micro-Wave Scan*.

El experimento se ha realizado en todos los colores de forma separada. No se han mezclado colores para la realización de la prueba debido a que el valor de *SW* proporcionado por cada color tiene una influencia sobre el valor de *LW*.

Recordar que un valor de *SW* alto indica una mala nivelación o rugosidad en la superficie del color, por lo que al aplicar la capa de barniz, ésta copiará en mayor o menor medida la superficie sobre la que se adhiere, dado valores más altos de *LW* en superficies que ya aportaban una mala nivelación de color.

8.2.3. Negro Mythos

La primera prueba se ha realizado sobre piezas pintadas en el color *Negro Mythos*.

Mediante el software *Minitab*, se ha generado la matriz de diseño aleatorizada. De este modo se seguirá la planificación y orden de los experimentos (ver *tabla 8.2*).

Orden	Velocidad Robot [mm/s]	Caudal [ml/s]	Abanico [NI/min]	Atomización [NI/min]
1	900	550	230	230
2	900	650	270	230
3	1200	550	270	230
4	1200	550	230	280
5	1200	650	230	230
6	1200	650	270	280
7	900	550	270	280
8	900	650	230	280

Tabla 8.2 Orden aleatorizado para la realización de experimentos (*Negro Mythos*)

A partir de ahora y con la finalidad de simplificar la visualización de las tablas, la matriz de diseño se mostrará en el formato estándar y los factores serán codificados con nivel alto y bajo cómo 1 y -1 respectivamente.

Los resultados de longitud de onda larga (LW) obtenidos de la experimentación sobre piezas pintadas en este color se muestran en la *tabla 8.3*.

Velocidad Robot	Caudal	Abanico	Atomización	LW
-1	-1	-1	-1	4,7
1	-1	-1	1	13,4
-1	1	-1	1	11,2
1	1	-1	-1	9,5
-1	-1	1	1	8,6
1	-1	1	-1	6,3
-1	1	1	-1	4,6
1	1	1	1	11,6

Tabla 8.3 Tabla de resultados de la experimentación (Negro Mythos)

Analizando estos valores mediante el software *Minitab*, se llega a la conclusión de que el único efecto significativo es el D, es decir, la atomización. Tal y como muestra la gráfica normal de los efectos y el diagrama de Pareto, *figura 8.2* y *8.3* respectivamente.

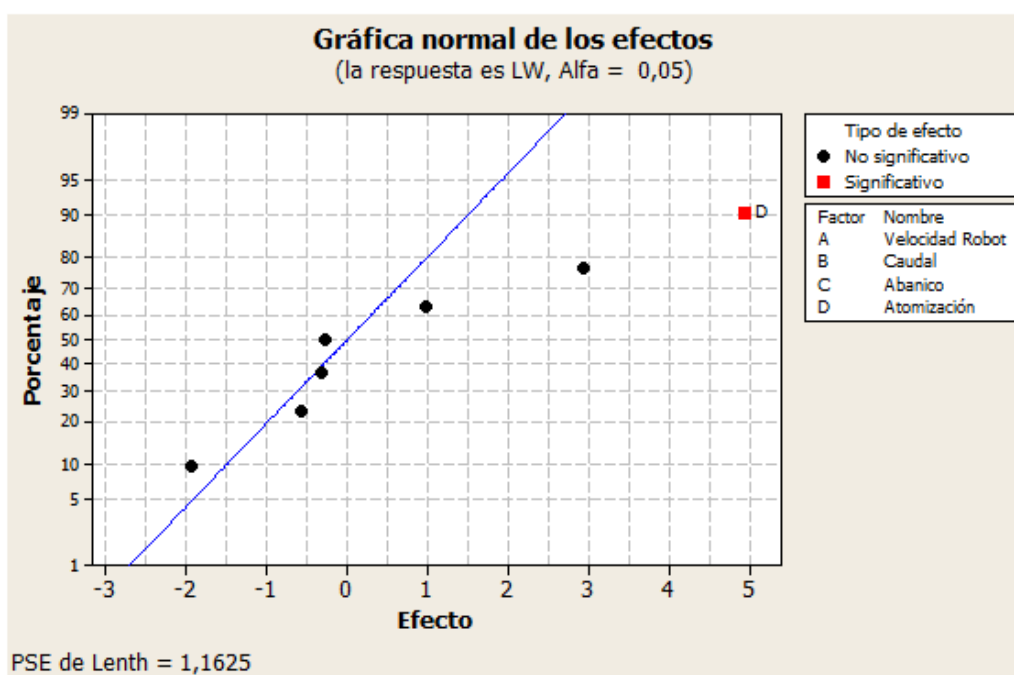


Figura 8.2 Gráfica normal de los efectos (Negro Mythos)

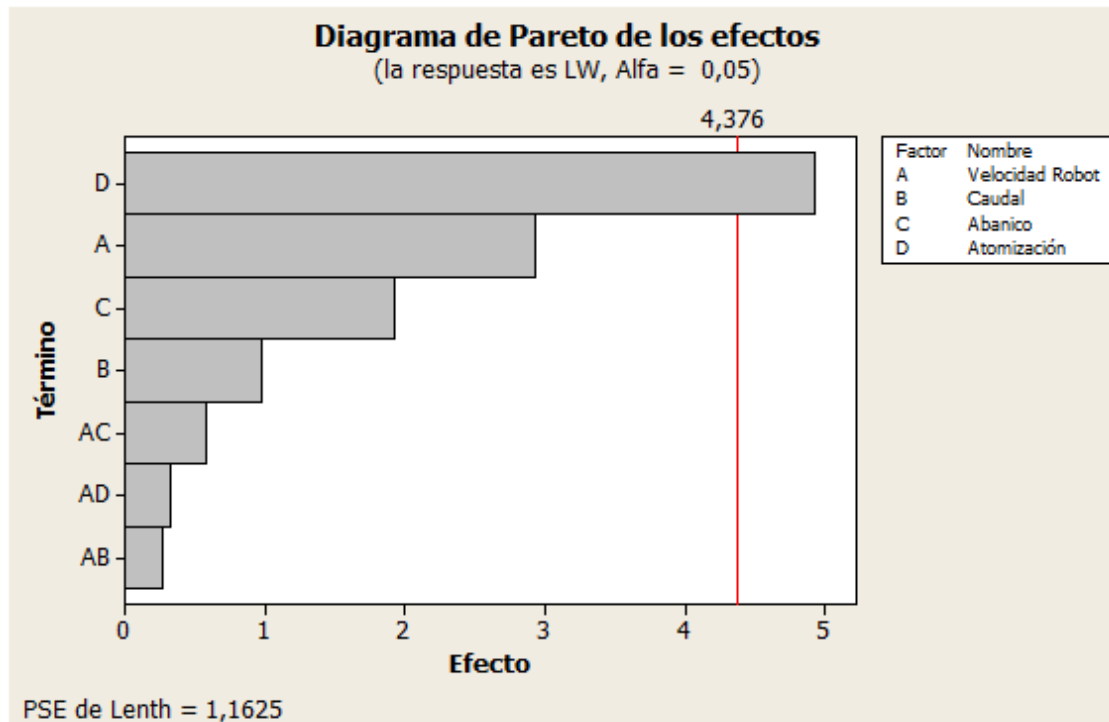


Figura 8.3 Diagrama de Pareto de los efectos (Negro Mythos)

El factor *D*, la atomización, tiene su alias con interacción de tres factores *ABC*, *Velocidad robot * Caudal * Abanico*. Tal y como se ha mencionado anteriormente, las interacciones de tres o más factores se consideran inertes, por lo que se puede asegurar que el factor *D* no está confundido.

En la *figura 8.4*, se muestra la gráfica que relaciona el valor de salida (*LW*) con el nivel de atomización.

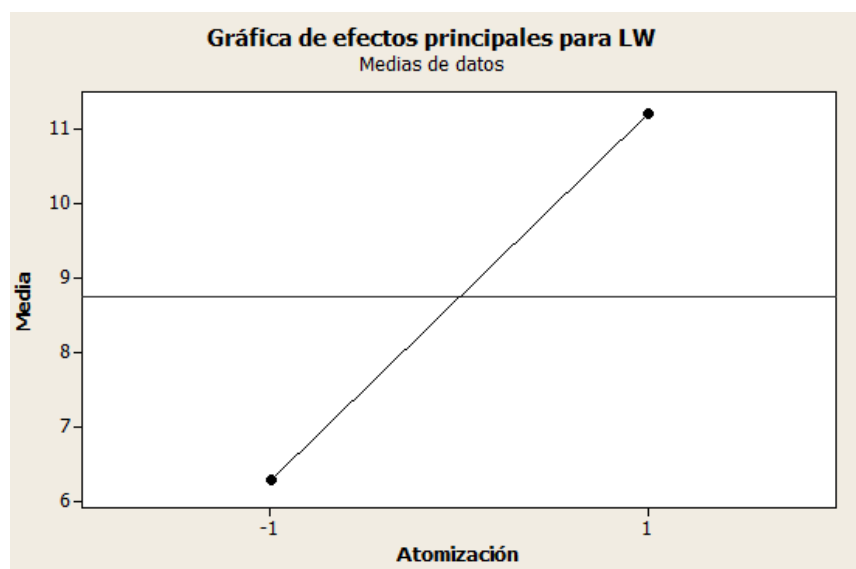


Figura 8.4 Interacción entre LW y nivel de Atomización (Negro Mythos)

El objetivo es minimizar este valor de salida, ya que como se viene diciendo, contra menor es el valor de lectura del *Micro-Wave Scan*, en este caso onda larga, mejor son los resultados del defecto de piel de naranja.

Por lo tanto habría que fijar el valor de atomización a un nivel bajo, 230 *Nl/min* para conseguir mejores resultados de *LW*.

A pesar de que el único factor significativo es la atomización, en la *figura 8.5* se muestran las relaciones entre el valor obtenido de *LW* y el resto de factores.

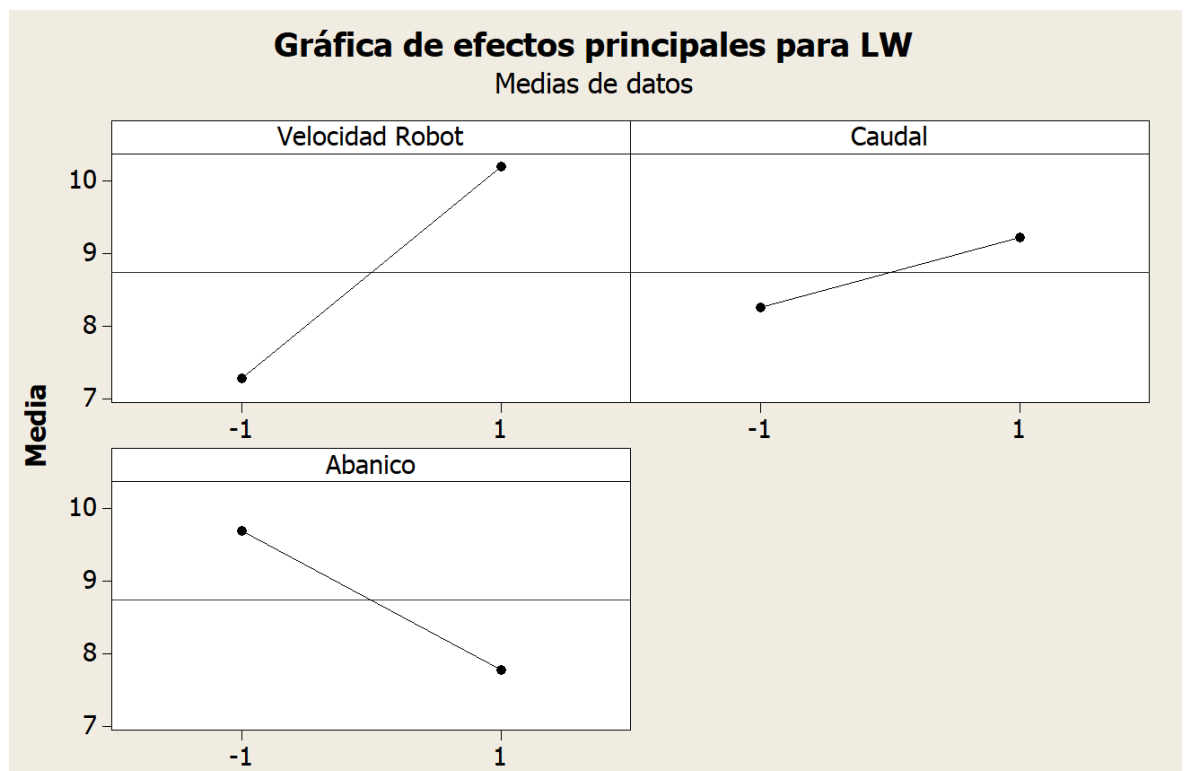


Figura 8.5 Interacciones entre los factores y la salida LW (Negro Mythos)

La velocidad del robot no ha salido como factor significativo, no obstante presenta una clara orientación a conseguir mejores resultados con velocidades a nivel bajo. El caudal por otra parte no muestra una tendencia clara y es el más inerte de los cuatro factores. Mientras que el abanico es preferible posicionarlo en un nivel alto.

8.2.4. Blanco Candy

La siguiente tanda de experimentos se ha realizado sobre piezas pintadas en *Blanco Candy*. El orden de los experimentos se muestra en la *tabla B.1* del *anexo B*. Los niveles son los mismos que en el *Negro Mythos*.

Los resultados de la experimentación son los presentados en la *tabla 8.4*.

Velocidad	Caudal	Abanico	Atomización	LW
-1	-1	-1	-1	8,2
1	-1	-1	1	11,2
-1	1	-1	1	10,8
1	1	-1	-1	10,4
-1	-1	1	1	9,2
1	-1	1	-1	8,2
-1	1	1	-1	7,5
1	1	1	1	11,6

Tabla 8.4 Tabla de resultados de la experimentación (Blanco Candy)

En el *anexo B*, se puede observar la gráfica normal de los efectos y el diagrama de Pareto (ver *figuras B.1* y *B.2*). Tal y como muestran, ningún efecto surge como significativo. Esto es debido a que ninguno tiene una influencia demasiado predominante sobre los otros.

No obstante, en la *figura B.3* del *anexo B*, se muestra la interacción entre la respuesta (*LW*) y los cuatro factores. Dónde claramente se observa que los que presentan una pendiente más pronunciada son la atomización y la velocidad del robot por ese orden.

En contrapartida, el caudal y el abanico, no muestran apenas influencia de posicionarlos a nivel alto o bajo.

En definitiva, las piezas pintadas en *Blanco Candy* siguen las misma tendencia que las que se han pintado en *Negro Mythos*, simplemente que esta tendencia es algo menos pronunciada.

8.2.5. Blanco Nevada

Es interesante ver cómo afectan los parámetros de la aplicación de barniz en el *Blanco Nevada*. Recordar que éste color es el que aporta peores resultados de piel de naranja de onda corta (SW) por lo que teóricamente, se deberían obtener también los peores valores en onda larga (LW).

La aleatorización de las corridas o experimentos se ha realizado con el software *Minitab* y se muestra en la *tabla B.2* del *anexo B*.

Los resultados de *LW* procedentes de la experimentación con los niveles ordenados de forma estándar y codificados son los mostrados en la *tabla 8.5*.

Velocidad Robot	Caudal	Abanico	Atomización	LW
-1	-1	-1	-1	12,5
1	-1	-1	1	17,2
-1	1	-1	1	15,9
1	1	-1	-1	14
-1	-1	1	1	14,2
1	-1	1	-1	13,3
-1	1	1	-1	12,1
1	1	1	1	16,2

Tabla 8.5 Tabla de resultados de la experimentación (Blanco Nevada)

En el *anexo B*, si se presta atención a las *figura B.4* y *B.5* dónde quedan representadas la gráfica normal y el diagrama de Pareto, se ve como el único efecto significativo es la atomización de la pintura.

El valor óptimo para la atomización sigue siendo el nivel bajo, esto queda claro en la *figura B.6* situada en el *anexo B*. Por otro lado, en esa misma figura, queda representada la interacción de los otros factores con el valor de referencia (*LW*).

El caudal se muestra inerte mientras que la velocidad del robot y el abanico parecen tener algo de influencia con la misma tendencia que en los casos anteriores.

8.2.6. Mystery Blue

En el caso del *Mystery Blue* se ha realizado el mismo procedimiento. En la *tabla B.3* del *anexo B* se indica el orden de los experimentos. Como se viene haciendo, se ha aleatorizado mediante *Minitab*.

En la *tabla 8.6* se muestran los resultados de la experimentación.

Velocidad Robot	Caudal	Abanico	Atomización	LW
-1	-1	-1	-1	10,2
1	-1	-1	1	18,9
-1	1	-1	1	15,9
1	1	-1	-1	13,5
-1	-1	1	1	14,2
1	-1	1	-1	11,7
-1	1	1	-1	9,8
1	1	1	1	15

Tabla 8.6 Tabla de resultados de la experimentación (Mystery Blue)

Estos datos parecen seguir la misma tendencia que en los casos anteriores. En las *figuras B.7* y *B.8* del *anexo B* se puede apreciar la gráfica normal y el diagrama de Pareto de ésta corrida de experimentos.

Éstos gráficos indican que ningún efecto ha surgido como significativo al igual que ha ocurrido con el color *Blanco Candy*.

A pesar de que ningún efecto tiene la suficiente influencia para considerarlo significativo, si se gráfica la interacción entre la salida (*LW*) y los factores (ver *figura B.9*), queda reflejado como la tendencia es la misma.

Se aprecia una clara tendencia de la atomización a presentar mejores resultados con un nivel bajo. Por otra parte el caudal aparece inerte, mientras que tanto el abanico como la velocidad del robot tienen una influencia menor que la atomización.

8.2.7. Magnetic Tech

Por último, se ha llevado a cabo la experimentación sobre piezas pintadas en *Magnetic Tech*. En la *tabla B.4* del *anexo B* queda indicado el orden de las corridas aleatorizadas previamente por *Minitab*.

Los valores tomados de piel de naranja de onda larga (LW) mediante el *Micro-Wave Scan* han sido los indicados en la *tabla 8.7*.

Velocidad Robot	Caudal	Abanico	Atomización	LW
-1	-1	-1	-1	9,6
1	-1	-1	1	16,1
-1	1	-1	1	13,5
1	1	-1	-1	12,7
-1	-1	1	1	13,0
1	-1	1	-1	10,8
-1	1	1	-1	9,8
1	1	1	1	14,1

Tabla 8.7 Tabla de resultados de la experimentación (*Magnetic Tech*)

Si se hace un estudio factorial fraccional mediante el software *Minitab*, se generan las gráficas presentes en las *figuras B.10* y *B.11*. En ellas se indican que factores surgen significativos mediante el diagrama de Pareto y la gráfica normal. Ambas gráficas presentan la misma información. Simplemente lo hacen de forma distinta.

Pues el factor *D*, referente a la atomización, surge como significativo por encima del resto. No aparecen interacciones entre factores.

En la *figura B.12* se puede apreciar como el valor óptimo para minimizar la respuesta es situar la atomización a nivel bajo. En esta figura quedan indicadas también las interacciones entre los demás factores y la respuesta.

El caudal es inerte, mientras que la velocidad parece ser mejor situarla a nivel bajo y el abanico en alto.

8.3. Conclusiones

Una vez realizado el experimento en los cinco colores distintos y después de obtener resultados muy parecidos en ellos, se puede llegar a la conclusión de que la Atomización es un factor importante. Hay que tenerlo en cuenta si se busca minimizar el valor de LW .

Por otro lado, sería recomendable utilizar un abanico amplio, factor a nivel alto. La velocidad del robot durante la pasada es preferible que sea a una velocidad baja, factor a nivel bajo. El caudal es indiferente a qué nivel situarlo al constatar que en este rango de valores es inerte.

En la *tabla 8.8* se muestran los niveles óptimos para minimizar la respuesta de LW .

	Valores óptimos	
	Nivel	Valor
Velocidad robot [mm/s]	Bajo	900
Caudal [ml/s]	-	-
Abanico [NI/min]	Alto	270
Atomización [NI/min]	Bajo	230

Tabla 8.8 Valores óptimos para cada factor

9. Influencia del valor de SW en LW

Adicionalmente y aprovechando que se ha realizado el experimento en los cinco colores, se puede confirmar la afirmación expresada en el punto 5.4. En este punto se menciona que la nivelación de la capa de barniz, es decir el valor de *LW*, se ve agravado en caso de aplicarse sobre un capa de color desnivelada, un valor de *SW* alto. Esto es debido a que la capa de barniz copia la superficie sobre la que se adhiere.

En este caso, se ha diferenciado el experimento por colores, debido a que cada uno presenta unos niveles de *SW* distintos. El *Blanco Nevada* y el *Mystery Blue* presentan la peor nivelación de la capa de color, mientras que el color *Negro Mythos* está muy bien nivelado.

Por este motivo, es coherente pensar que bajo unas mismas condiciones de aplicación de barniz, las piezas que previamente han sido pintadas con colores de *Blanco Nevada* o *Mystery Blue* presentarán peores valores de *LW* que una pieza que tiene su base pintada de *Negro Mythos*.

Esto es fácil comprobarlo, simplemente se debe graficar los datos obtenidos en la experimentación de la capa de barniz y analizar los resultados.

En la *tabla 9.1* se muestran los valores obtenidos en cada una de las ocho corridas de experimentos por color.

EXPERIMENT O	NEGRO MYTHOS	BLANCO CANDY	BLANCO NEVADA	MYSTERY BLUE	MAGNETIC TECH
1	4,7	8,2	12,5	10,2	9,6
2	13,4	11,2	17,2	18,9	16,1
3	11,2	10,8	15,9	15,9	13,5
4	9,5	10,4	14	13,5	12,7
5	8,6	9,2	14,2	14,2	13
6	6,3	8,2	13,3	11,7	10,8
7	4,6	7,5	12,1	9,8	9,8
8	11,6	11,6	16,2	15	14,1

Tabla 9.1 Tabla de resultados de la experimentación en los distintos colores (8 corridas)

En efecto, graficando estos datos, se puede ver fácilmente como para unas mismas condiciones de aplicación de barniz se obtienen diferentes valores en función del color base (ver figura 9.1).

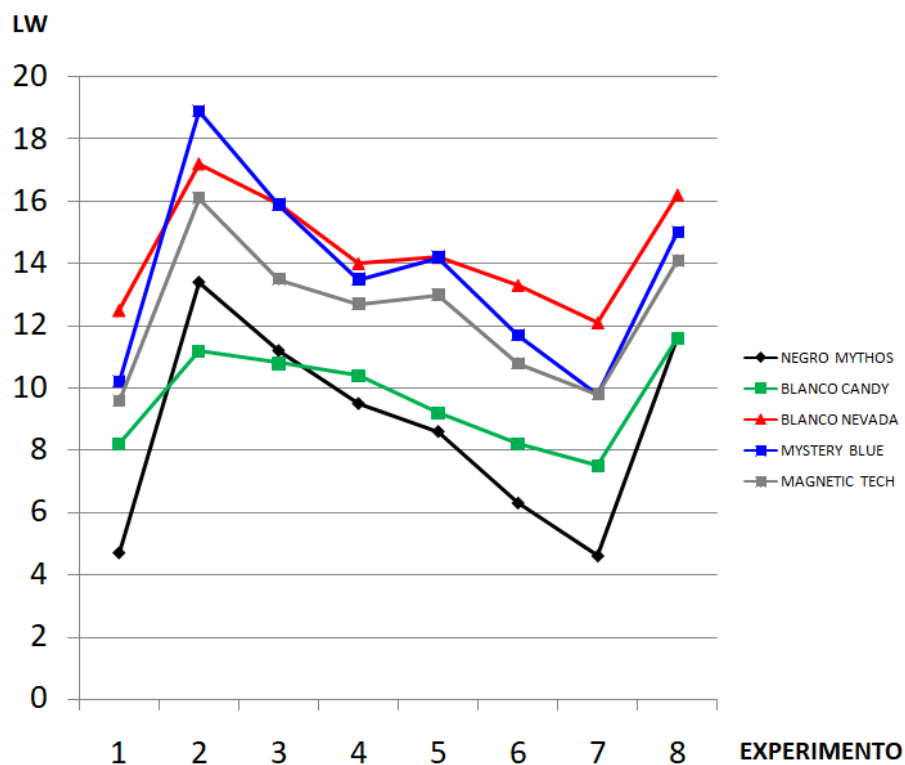


Figura 9.1 Gráfico de valores LW en cada color y experimento

De hecho las sospechas son ciertas, los colores en los que se obtiene peor nivelación de la capa de barniz son los mismos en los que se tenía mala nivelación de la capa de color. Mientras que en los colores que estaban mejor nivelados, el valor de LW es en relación más bajo.

Este fenómeno tiene un efecto significativo. Prácticamente el mejor valor de nivelación de barniz en una pieza pintada en *Blanco Nevada* tiene el mismo valor que la peor pintada en *Negro Mythos*.

Si se observa en detalle la *figura 9.1*, se puede apreciar como en cada experimento, mostrado en el eje horizontal, la tendencia es la misma. Por lo que no hay interacciones significativas entre los parámetros de aplicación y el tipo de color base aplicado. Simplemente se debe tener en cuenta, que el rango de valores de LW obtenido puede aumentar dependiendo de la base.

10. Presupuesto

El presupuesto del presente proyecto viene dado por las horas destinadas a la realización del trabajo, las licencias de software utilizados y el costo de los experimentos llevados a cabo.

En cuanto al presupuesto debido a las horas destinadas, se debe de tener en cuenta que el proyecto se ha realizado dentro de un convenio de prácticas, las cuales han durado 360 horas y remuneradas a 8 €/hora.

El software utilizado ha sido *Minitab*, cuya licencia tiene un costo de 1,794.00 €.

En cuanto al costo de la experimentación es material confidencial.

Por lo que podemos desglosar los dos primeros puntos (ver *tabla 10.1*).

	Unidades	Precio Unitario [€]	Costo total
Horas destinadas [h]	360	8,00 €	2.880,00 €
Licencia <i>Minitab</i>	1	1.794,00 €	1.794,00 €
TOTAL			4.674,00 €

Tabla 10.1 Desglose de costos

Tal y como queda reflejado en la tabla, el presupuesto es de 4,674.00 € sin tener en cuenta el costo experimental.

11. Impacto ambiental

La realización de este proyecto no ha contribuido al aumento del impacto ambiental de la actividad de la empresa.

Las piezas utilizadas para la experimentación han sido dadas como buenas y no han aumentado los desechos (*Scrap*). Además, tal y como se ha mencionado en capítulos anteriores se ha pretendido afectar lo mínimo posible a la producción.

Por lo que el impacto ambiental de este proyecto no es más que el normal de la producción de una empresa de pintado de plástico.

Los datos exactos de contaminación y residuos son confidenciales.

12. Conclusiones

Para concluir este proyecto se puede decir que se han llevado a cabo los objetivos marcados.

Se ha explicado que es el defecto denominado piel de naranja y las causas que lo pueden originar. No sin antes detallar el proceso de pintado de una pieza de automóvil y la composición y formulación de los recubrimientos.

Se ha realizado una búsqueda de análisis estadísticos previos sobre el tema. Se ha dado a conocer que el grosor de la capa de barniz afecta al valor obtenido de *LW*.

Así como el tiempo de evaporado o *Flash-off*, el cual también tiene influencia en los valores de *SW* y *LW*.

Se ha planificado que experimentos se van a llevar a cabo y en qué aspectos se van a centrar.

Finalmente, después de decidir qué factores se van a estudiar, se ha realizado la experimentación para ver la influencia de la formulación de la pintura en los valores de *SW*.

Dando como resultado la corroboración de la influencia de este factor.

La segunda experimentación se ha centrado en ver qué aspectos del método de aplicación de barniz afectan a los valores de *LW*. Resultando ser la atomización el factor más influyente.

Además, estos experimentos se han llevado a cabo con el mínimo impacto posible sobre la producción.

Para acabar, se han proporcionado los datos resultantes a la empresa.

En definitiva, ha sido un proyecto gratificante, ya que se ha analizado una situación real y sus resultados podrían ser de gran utilidad.

13. Bibliografía

- [1] Varon, L. (2016). <http://colectivo7903.blogspot.com/2016/06/espectro-visible.html>
- [2] aulafacil. <https://www.aulafacil.com/cursos/fisica-y-quimica/el-color/reflexion-y-absorcion-137416>
- [3] Bibián, V. (2015). tpintura. <http://tpintura.blogspot.com/2015/11/pigmentos.html>
- [4] Hidalgo, P. (2016). Pintarmicoche. <https://www.pintarmicoche.com/pintura-2k-vs-1k/>
- [5] Bournas, P. (2013) ccyacht. <https://www.ccsyacht.com/captains/wavescan-technology-explained/>
- [6] BYK-Gardner. (Germany)
https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/es/Intro_Piel_de_naranja.pdf
- [7] Paul, N. (2018). Gardco. https://gardco.com/pages/gloss/microwave_scan.cfm#info
- [8] BYK-Gardner. (Germany)
https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/technical_information/datasheets/English/Appearance/Orange%20Peel/wave-scan_the_Appearance_Standard_for_Measuring_Orange_Peel_and_DOI_in_the_Automotive_Industry.pdf
- [9] Limecomms. (2019). <http://www.limecomms.com/76DLD8V1/>
- [10] valverair. (2010). <https://www.youtube.com/watch?v=SpaKOZtfGCA>
- [11] euroflow. <http://euroflow.com.ar/atomizacion-de-pinturas-liquidadas.html>

OTRAS REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Goldschmidt, A; Streitberger J. *Basics of Coating Technology*, 2nd revised edition. Hanover: VINCENTZ, 2007. ISBN 3-86630-903-1

Streitberger, J; Dösel K. *Automotive Paints and Coatings*. Second, Completely Revised and Extended Edition. Germany: WILEY-VCH, 2008. ISBN 978-3-527-30971-9

Harris, R. *Coloring Technology for Plastics*. New York: PDL, 1999. ISBN 1-884207-78-2

Bieleman, J. *Additives for Coatings*. The Netherlands: WILEY-VCH, 2000. ISBN 978-3-527-61331-1

Poth, U. *Automotive Coatings Formulation*. Hanover: VINCENTZ, 2008. ISBN 978-3-86630-904-3

Florio, J; Miller, D. *Handbook of Coatings Additives*, Second Edition. New York: Marcel Dekker, INC, 2004. ISBN 0-8247-5626-6 2004

de With, G. *Polymer Coatings: A Guide to Chemistry, Characterization, and Selected Application*. Eindhoven: WILEY-VCH, 2018. ISBN 978-3-527-34210-5

Montgomery; Douglas, C. *Introduction to statistical quality control*, 5th ed. John Wiley & Sons, 2005. ISBN 0471661228

George, E.P. *Statistics for experimenters: design, innovation, and discovery*, 2nd ed. 2005. ISBN 0471718130

BYK-Gardner (Germany)

https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/es/Intro_Piel_de_naranja.pdf

foropinturacoches. (2013). <http://foropinturacoches.com/que-es-la-piel-de-naranja-en-un-coche/>

El confidencial. (2017). <https://www.elconfidencialdigital.com/articulo/tendencias/Pintura-liquida-diferencias-pistola-Airless/20170626112955085809.html>

reparacion-vehiculos. <https://blog.reparacion-vehiculos.es/imprimacion-para-plasticos>

Mapfre. http://www.mapfre.es/ccm/content/documentos/cesvimap/ficheros/Pintado_plasticos_cap_3.pdf

